

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta chemicko-technologická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Vendula Geržová

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická

Solidifikace digestátu s použitím alternativních sorbentů  
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vendula Geržová**  
Osobní číslo: **C19062**  
Studijní program: **B2802 Chemie a technická chemie**  
Studijní obor: **Chemie a technická chemie**  
Téma práce: **Solidifikace digestátu s použitím alternativních sorbentů**  
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

## Zásady pro vypracování

1. V teoretické části práce proveďte rešerši zaměřenou na problematiku nakládání s digestátem produkovaným v bioplynových stanicích a na národní legislativu regulující jeho další možné využití.
2. V rámci praktické části práce ověřte na definovaných vzorcích digestátu možnost jeho stabilizace/solidifikace pomocí organických sorbentů, případně dalších sorpčních materiálů dostupných z tuzemských zdrojů. Získané solidifikované produkty charakterizujte použitím dostupných technik a pokuste se diskutovat možnosti použití připraveného solidifikovaného digestátu.
3. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 7/2019 „Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací“ v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Tomáš Weidlich, Ph.D.**  
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Barbora Kamenická**  
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2022**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2022**

L.S.

---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

---

**prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.**  
vedoucí katedry

Prohlašuji:

Práci s názvem Solidifikace digestátu s použitím alternativních sorbentů jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20.6.2022

Vendula Geržová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji svému vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Tomáš Weidlich, Ph.D. za velkou ochotu a trpělivost. Taktéž děkuji Ing. Josefu Němcovi za poskytnutí zdrojů a informací pro vypracování experimentální části. Velké díky patří моým rodičům a příteli za podporu při psaní i studiu.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá popisem digestátu a legislativou upravující jeho použití a skladování. Dále popisuje možné využití digestátu a způsoby jeho zahušťování. V experimentální části je popis zahuštění fugátu pomocí dvojsložkového sorbentu. Vzniklý gel byl podroben sérii rozborů zaměřených na jeho chemické složení. V závěru je diskutováno možné využití vzniklého gelu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

bioplynová stanice, anaerobní digesce, digestát, fugát, zahušťování, sorbent

## **TITLE**

Solidification of digestate using alternative sorbents

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis deals with the description of processes producing digestate and legislation governing its use and storage. It also describes the possible use of digestate and methods of its thickening of the fugate using a two-component sorbent. The experimental part describes the thickening of the fugate using a two-component sorbent. The resulting gel was subjected to a series of analyzes focused on its chemical composition. Finally, the possible use of the resulting gel is discussed.

## **KEYWORDS**

biogas plant, anaerobic digestion, liquid digestate, thickening, sorbent

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	10
SEZNAM TABULEK .....	11
SEZNAM GRAFŮ .....	12
SEZNAM ZKRATEK .....	13
ÚVOD .....	13
TEORETICKÁ ČÁST .....	14
1. Anaerobní digesce .....	14
1.1. Mechanismus anaerobního rozkladu .....	14
1.1.1. Hydrolýza .....	14
1.1.2. Acidogeneze .....	14
1.1.3. Acetogeneze .....	14
1.1.4. Methanogeneze .....	15
1.2. Faktory ovlivňující anaerobní proces .....	15
1.2.1. Vliv teploty .....	15
1.2.2. Vliv pH .....	15
1.2.3. Vliv složení substrátu .....	16
1.3. Mokrý digesce .....	16
1.4. Suchá digesce .....	17
2. Technologie bioplynových stanic .....	19
2.1. Substrát .....	19
2.2. Produkty .....	20
3. Digestát .....	21
3.1. Vlastnosti digestátu .....	21
3.2. Legislativa pro nakládání s digestátem .....	21
3.2.1. Registrace digestátu jako hnojiva .....	22
3.2.2. Skladování digestátu .....	22
3.2.3. Legislativní použití při hnojení .....	23
3.2.4. Digestát jako hnojivo .....	23
3.3. Využití digestátu .....	28
3.3.1. Využití separátu .....	28
3.3.2. Využití fugátu .....	28
3.3.3. Digestát jako látka vhodná pro rekultivaci .....	28
3.3.4. Digestát jako alternativní palivo .....	28



4.	Problematika dalšího využití .....	30
4.1.	Legislativní požadavky a běžné hodnoty .....	30
4.2.	Složení digestátu a jeho aplikace.....	31
4.3.	Digestát a zápach.....	32
5.	Zahušťování digestátu.....	33
5.1.	Zpracování separátu.....	33
5.1.1.	Biochar neboli biouhel .....	33
5.2.	Zpracování fugátu.....	34
5.3.	Zahuštění pomocí sorbentů.....	34
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....		36
1.	Popis měření .....	36
1.1.	Průběh solidifikace .....	36
1.2.	pH a vodivost připravených materiálů .....	36
1.3.	Měření amonných iontů.....	37
1.3.1.	Měření amonných iontů v digestátu a v separované tekutině (L) .....	39
1.3.2.	Měření amonných iontů u výluhů ze sorbentů .....	39
1.3.3.	Měření amonných iontů v připraveném gelu (S) .....	40
1.4.	Rozklad vzorku pro následné stanovení dusíku, fosforu a draslíku .....	40
1.5.	Stanovení celkového dusíku .....	41
1.6.	Stanovení celkového fosforu .....	42
1.7.	Stanovení celkového draslíku.....	43
1.8.	Stanovení obsahu sušiny.....	43
1.9.	Stanovení obsahu popela .....	44
2.	Výsledky .....	45
ZÁVĚR .....		50
LITERATURA .....		51

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Vznik bioplynu z rozložitelných materiálů [3] .....	14
Obrázek 2 - Vývoj složení bioplynu při rozvoji methanogeneze. [4].....	15
Obrázek 3 - Schéma mokré digesce [62] .....	17
Obrázek 4 - Schéma suché digesce [9] .....	18
Obrázek 5 - Počet bioplynových stanic v České republice. [10] .....	19
Obrázek 6 - Koloběh digestátu [16].....	20
Obrázek 7 - Vymezení zranitelných oblastí z roku 2012 [32].....	25
Obrázek 8 - Brikety ze separátu a biomasy, 1 – separát s dřevěnými pilinami 1:1, 2 - separát s dřevěnými pilinami 3:7, 3 - separát s senem 1:1, 4 - čistý separát, 5 - separát s topolovou štěpkou 1:1 [61] (upraveno).....	29
Obrázek 9 - Ionosep (Foto autor).....	37
Obrázek 10 - Teoretický graf z Ionosepu [56].....	37
Obrázek 11 - Konkrétní graf z Ionosepu – vzorek 1702TW6L (Foto autor).....	38
Obrázek 12 - Fugát před solidifikací (Foto autor) .....	49
Obrázek 13 - Gel s poměry 7 g 1702TWA a 3,6 g 702TWB na 50 g fugátu (Foto autor) .....	49
Obrázek 14 - Gel s poměry 17 g 1702TWA a 12,4 g 1702TWB na 140 g fugátu (Foto autor) .....	49

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Příklady substrátu a jejich poměru C: N [6].....	16
Tabulka 2 - Složení digestátu [22].....	21
Tabulka 3 - Přehled nutnosti registrace či ohlášení digestátu [25].....	22
Tabulka 4 - Org. a statková hnojiva – rizikové prvky pro digestáty [28].....	23
Tabulka 5 - Hodnoty rizikových prvků v digestátu za rok 2021, data Laboratoře Písek [29]..	23
Tabulka 6 - Přehled používání hnojiv v zranitelných oblastech [27].....	24
Tabulka 7 - I. Aplikační pásmo [27] (upraveno).....	25
Tabulka 8 - II. Aplikační pásmo [27] (upraveno).....	26
Tabulka 9 - III. Aplikační pásmo [27] (upraveno).....	26
Tabulka 10 - Maximální celková dávka dusíku v období po sklizni hlavních plodin [27] .....	27
Tabulka 11 - Hodnoty digestátu za rok 2021 [29].....	31
Tabulka 12 - Vstupy BPS Lánov a Černotín [45] [44].....	32
Tabulka 13 - Hodnoty násad při přípravě gelů S a zastoupení separované tekutiny .....	36
Tabulka 14 - Podmínky pro analýzu amonných iontů [56].....	39
Tabulka 15 - Hmotnosti navážek gelu a výsledná koncentrace $\text{NH}_4^+$ .....	40
Tabulka 16 - Parametry metody K15MIN.....	41
Tabulka 17 - Parametry metody K1.....	42
Tabulka 18 - Souhrnné hodnoty fugátu a sorbentů.....	45
Tabulka 19 - Naměřené hodnoty separované tekutiny L (viz. Kapitola 1.1.1.).....	45
Tabulka 20 - Naměřené hodnoty separovaného gelu S (viz. Kapitola 1.1.1.).....	46

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Koncentrace NPK v gelu S. Hodnota označená v grafu pod číslem 7 náleží hodnotám fugátu. ....	46
Graf 2 - Koncentrace NPK v separované tekutině L – vzorek 1702TW4L nemá hodnotu z důvodu nedostatku vzorku. Hodnota označená v grafu pod číslem 7 náleží hodnotám fugátu. ....	47
Graf 3 - Porovnání koncentrace amonných iontů ve vzorcích gelu, separované tekutiny a fugátu. ....	47
Graf 4 - Srovnání sušin gelu a fugátu .....	48

## **SEZNAM ZKRATEK**

BPS – bioplynová stanice

ČOV – čistička odpadních vod

VŽP – vedlejší živočišné produkty

ES – evropské společenství

OZE – obnovitelné zdroje energie

EP – evropský parlament

SOP – Standartní operační postup

## ÚVOD

Současná geopolitická situace v Evropě i ve světě klade veliký důraz na využívání obnovitelných zdrojů. Jedním ze zdrojů jsou i bioplynové stanice (dále BPS). Jedná se o možnost zpracování biomasy pomocí anaerobní digesce. Jako produkt odchází bioplyn a jako odpad (či lépe řečeno potencionální produkt) digestát. Bioplyn se využívá k výrobě energie (tepelné nebo elektrické) a skládá se z methanu a oxidu uhličitého. Digestát se obvykle dopravuje na pole a používá se jako hnojivo. Tato hmota se skládá z větší části z vody a ze zfermentovaného biologického materiálu.

Největší zastoupení bioplynových stanic v České republice patří těm zemědělským. Ty zpracovávají statková hnojiva (např. kejdy a hnoje) a zemědělské plodiny (např. kukuřice).

V rešerši zpracovávám možnosti dalšího využití digestátu nejen na polích, ale i pro energetické využití. Dále se zabývám legislativou okolo digestátu. Tedy ohledně jeho skladování a aplikace na zemědělskou půdu.

V praktické části se zabývám možností zahuštění digestátu pomocí sorbentů.

## TEORETICKÁ ČÁST

### 1. Anaerobní digesce

Anaerobní digesce nebo anaerobní fermentace je biologický rozkladný proces organické hmoty. Jelikož se jedná o anaerobní fermentaci, celý proces probíhá bez přístupu vzduchu. Tento jev se nevyskytuje jen v BPS, ale i volně v přírodě. Typickým příkladem mohou být dna jezer, skládky komunálního odpadu nebo také bažiny. Během tohoto procesu mikroorganismy rozkládají organickou hmotu. [1]

#### 1.1. Mechanismus anaerobního rozkladu

Konečnými produkty u anaerobního rozkladu jsou metan a  $\text{CO}_2$ . Tohoto procesu se účastní mnoho mikroorganismů. Jedná se o velice komplexní záležitost, protože produkty jedné skupiny mikroorganismů slouží jako substrát pro jinou skupinu. [2]

1. Hydrolýza
2. Acidogeneze
3. Acetogeneze
4. Methanogeneze

##### 1.1.1. Hydrolýza

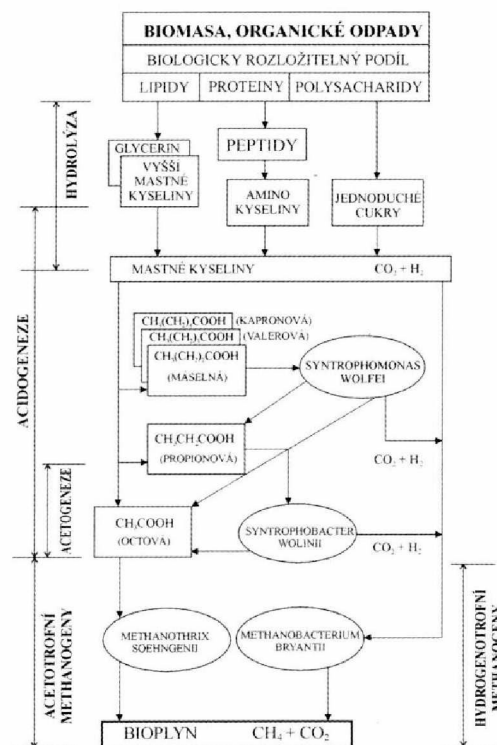
První fáze se nazývá hydrolýza. V tomto kroku se z makromolekulárních látek (lipidů, proteinů a polysacharidů) stávají látky nízkomolekulární a rozpustné ve vodě. [2]

##### 1.1.2. Acidogeneze

Je druhý stupeň rozkladu. Během acidogeneze vznikají jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ). Pokud je parciální tlak vodíku nízký produkuje se kyselina octová,  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}_2$ . Při vyšším parciálním tlaku se vytvářejí vyšší organické kyseliny (kyselina mléčná atd.). [2]

##### 1.1.3. Acetogeneze

Zde se všechny látky oxidují na  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  a kyselinu octovou. Acetogenní mikroorganismy, které rozkládají vyšší kyseliny a produkují vodík, jsou pro toto stádium



Obrázek 1 - Vznik bioplynu z rozložitelných materiálů [3]

nezbytné. Stejně tak jsou nezbytné mikroorganismy, které spotřebovávají vytvořený vodík. Velké množství vodíku inhibuje acetogenní mikroorganismy a tím i celý systém. [2]

#### 1.1.4. Methanogeneze

Závěrečným krokem anaerobní digesce je methanogeneze. Methanogenní mikroorganismy rozkládají jednoduhlíkaté látky (methanol atd.) a víceuhlíkaté (pouze kyselinu mravenčí). Z těchto substrátů produkují  $\text{CO}_2$  a methan. [2]

### 1.2. Faktory ovlivňující anaerobní proces

Jelikož se jedná o živý proces ovlivňuje ho mnoho faktorů. Mezi tyto faktory můžeme například zařadit teplotu, pH, substrát nebo toxiny.

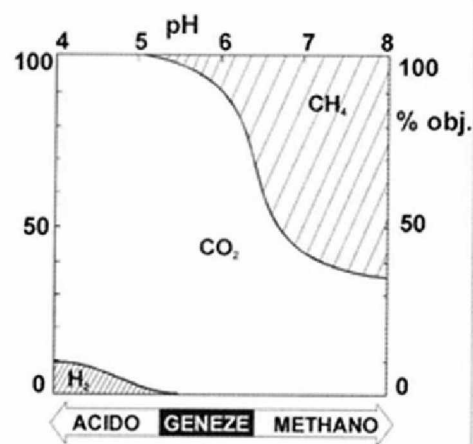
#### 1.2.1. Vliv teploty

Anaerobní reakce je podstatně ovlivněna teplotou. Teplotní rozsah pro tvorbu methanu je od 4 °C do 97 °C. Methanizace se může z hlediska teploty dělit na pět kategorií: kryofilní (0–7 °C), psychofilní (5–27 °C), mezofilní (27–40 °C), termofilní (45–60 °C) a extrémně termofilní (63–97 °C). Pokud stoupá teplota, stoupá i rychlost methanizace. Změna teploty vede i k jinému zastoupení mikroorganismů, což může způsobovat dysbalanci, a dokonce i úplné zastavení reakce. [5]

Nově se v horkých islandských pramenech našly mikroorganismy, které rostou v teplotním rozmezí 63–97 °C. Optimum je pro ně 83 °C. V praxi jsou využívány mikroorganismy, u kterých se nejčastěji udržuje teplota nižší (tedy snáze udržitelná), než vyšší s horší udržitelností konstantní teploty. Proto se provozní teplota většiny anaerobních reaktorů pohybuje v rozmezí 30–45 °C. Některé pak v rozmezí 45–60 °C. Výhodou vyšší teploty je, že se rychleji rozkládají organické látky a lépe jsou ničeny patogenní mikroorganismy. [2]

#### 1.2.2. Vliv pH

Ideální pH pro činnost a růst methanogenů je v rozmezí 6–8 pH. Některá literatura uvádí 6,2 - 7,8 [2] a jiná 6,5 - 7,5 pH [5]. Je-li pH nižší nebo vyšší, než jsou tyto hranice, dochází k inhibici. Avšak ideální pH pro první tři fáze anaerobní digesce (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze) je nad pH 5 [2] konkrétně okolo 5,7 pH [5].



Obrázek 2 - Vývoj složení bioplynu při rozvoji methanogeneze. [4]



Aby se pH udrželo ve stálém rozmezí, je potřeba tlumící systém. Ten je tvořen  $\text{CO}_2^- \text{HCO}_3^-$  s  $\text{NH}_4^+$  jako majoritním kationtem. I pochody v procesu ovlivňují pH, zejména pak spotřeba  $\text{CO}_2$  a produkce nižších mastných kyselin. Změna pH může mít příčinu i v přítoku příliš kyselého či bazického substrátu. [5]

### 1.2.3. Vliv složení substrátu

Nejdůležitější na složení substrátu je poměr C:N. Uvádí se optimální 30:1. [5] Pokud je dusíku příliš, během procesu se vytváří vysoké množství amoniaku a ten brzdí methanogenezi. Další látky, které brzdí methanogenezi jsou těžké kovy ve vyšších koncentracích (např. Cu, Pb, Zn atd.), oxidanty (molekulární kyslík, peroxidy), pesticidy anebo tenzidy. Naopak stopové prvky (Např. Ni nebo Co) methanogenní aktivitu zlepšují. Není ovšem problém mikroorganismy na koncentrace látek, které methanogenezi zpomalují, přizpůsobit. Nebezpečné pro stabilitu procesu jsou jednorázové dávky. Kontinuální přítok není tak nebezpečný, vše záleží na odolnosti procesu. Tuto odolnost můžeme ovlivnit délkou zdržení. Čím déle se substrát zdrží v nádrži, ve které probíhá digesce, tím mají mikroorganismy delší čas na přizpůsobení se nevhodným podmínkám. [2]

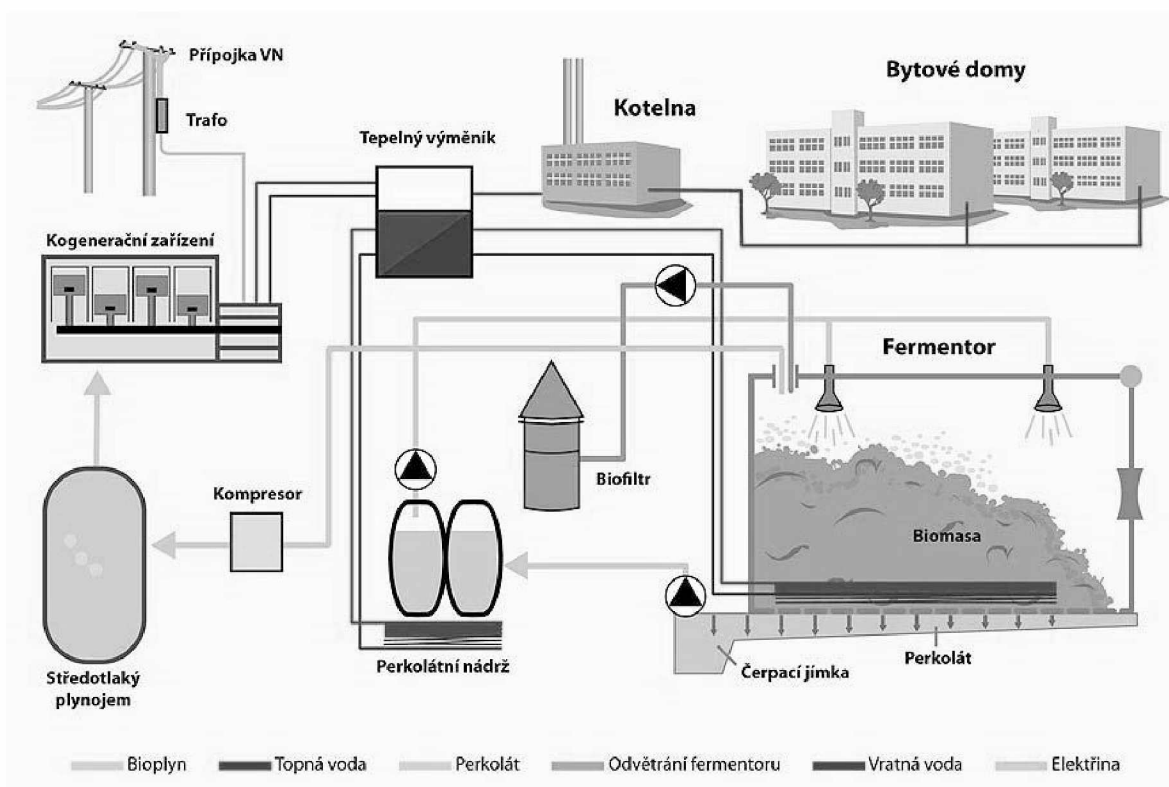
Tabulka 1 - Příklad substrátů a jejich poměru C: N [6]

Substrát	C: N
Kukuřičná siláž	29:1
Travní senáž	22:1
Kejda	6-15:1
Masokostní moučka	4,2:1
Surový kal z ČOV	15:1
Kuchyňský odpad	15-20:1
Tuk	100:1

### 1.3. Mokrý digesce

Mokrý digesce je používanější než suchá digesce. Substrát se zde používá s obsahem sušiny kolem 12 %. Je to kontinuální zařízení, kde se substrát čerpá do tzv. fermentorů. Je zde udržována teplota kolem 35 °C (nebo 55 °C, záleží na typu reaktoru). [7]

Tento typ digesce má mnohem rozsáhlejší použití a je technicky propracovanější. Tato metoda je technicky náročnější (míchadla, čerpadla atd.) a to zvyšuje náklady na provoz (např. servis, údržba, elektřina). Mezi hlavní nevýhody patří nutnost neustálého dodávání substrátu a náročná předúprava vstupních surovin. [7]



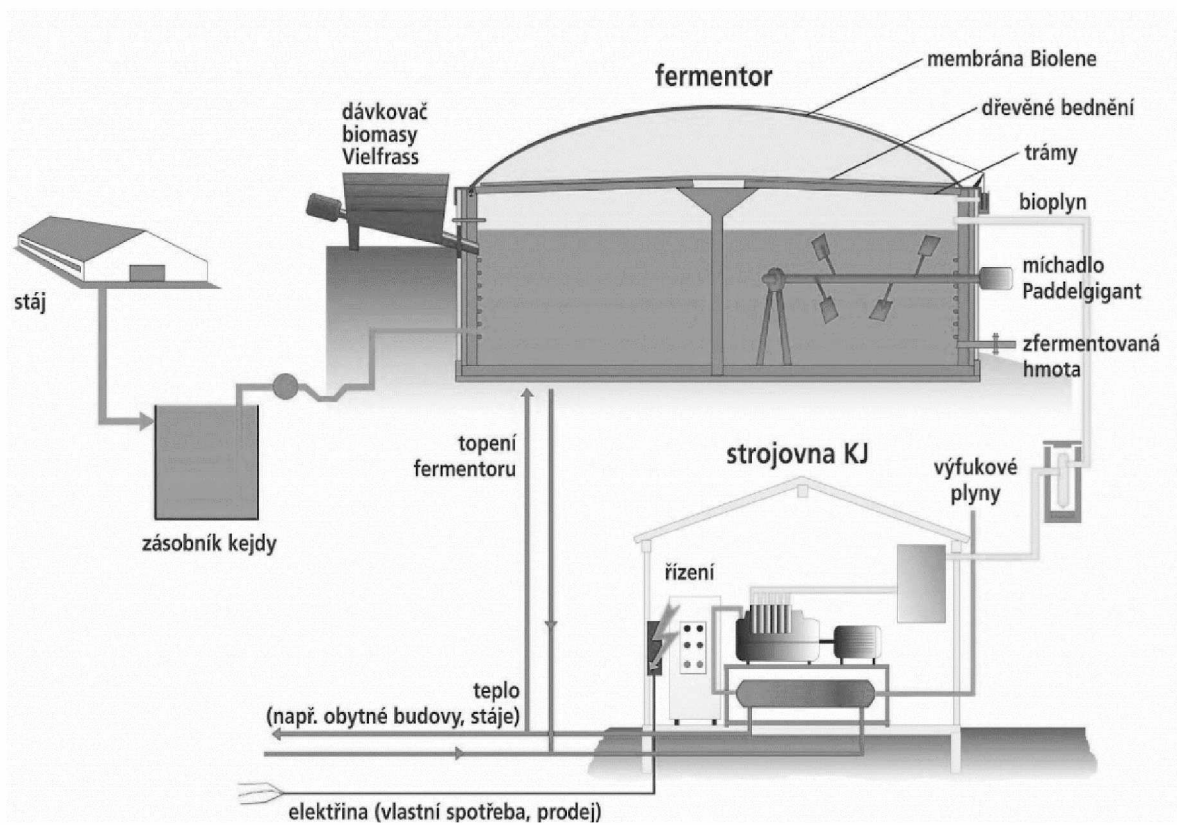
Obrázek 3 - Schéma mokré digesce [62]

#### 1.4. Suchá digesce

Zařízení pracujících se suchou digescí není mnoho. Hlavní rozdíl od mokré digesce je v obsahu sušiny, která má 20-50 %. Jako substrát pro tuto metodu se používají siláže a senáže, tráva, listí či biologicky rozložitelný komunální odpad. [8]

Substrát u suché digesce není možné čerpat a je převážně na nakladači do fermentoru, při jeho naplnění dochází k jeho vzduchotěsnému uzavření. Surovina je zahřívána vytápěnou podlahou. Důležitou součástí je tzv. perkolát. Je to kapalina, která vytéká z biomasy a je sbírána a opětovně stříkána na substrát. [8]

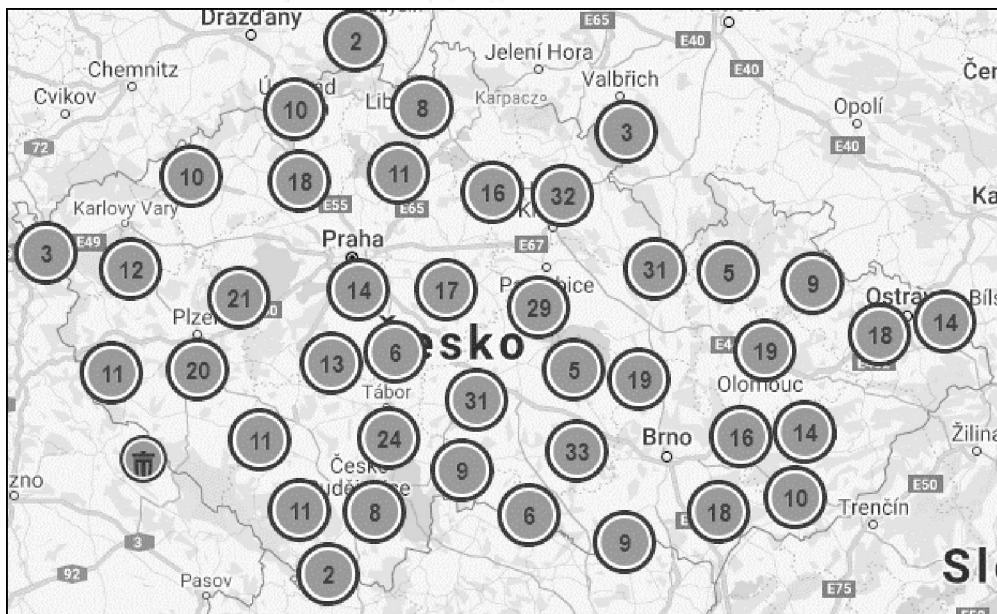
Mezi výhody tohoto systému patří nízká energetická náročnost, žádné upravování substrátu a možnost zpracovávat substráty, které obsahují příměsi. Nevýhody jsou nižší účinnost a manipulace se substrátem (při naskladnění a vyskladnění). [7]



Obrázek 4 - Schéma suché digesce [9]

## 2. Technologie bioplynových stanic

Anaerobní digesce probíhá v zařízení, které se nazývají bioplynové stanice. Podle typu vstupujících surovin je můžeme rozdělit na BPS průmyslové a zemědělské. K datu 24.11.2021 bylo v evidenci 579 BPS. (Obrázek 5.) [10]



Obrázek 5 - Počet bioplynových stanic v České republice. [10]

### 2.1. Substrát

Vstupující surovině se říká substrát. Ačkoliv lze v podstatě rozložit všechny organické látky, některé jsou vhodnější než jiné. Mezi klasické suroviny jsou hospodářské exkrementy (kejdy a hnoje), energetické rostliny (kukuřice, čirok) a bioodpady (tráva). Pokud BPS zpracovává tyto suroviny, jedná se o zemědělskou BPS. [11]

Mezi další substráty se můžou řadit i jateční odpady, tuky, kaly z ČOV či specifických provozů. Tyto suroviny označujeme za rizikové vstupy. U těchto průmyslových BPS je nutné pečlivě zvolit technologii. Navíc musí být dle nařízení EP a Rady č. 1774/2002 dodržovány pravidla hygieny pro vedlejší produkty živočišného původu (např. pasterizační jednotka). [12]

Substrát musí mít určité fyzikální vlastnosti a složení látek, aby byl vhodný pro anaerobní zpracování. Obsah sušiny by se měl pohybovat mezi 5-15 %. Pokud by obsah sušiny byl nižší jak 5 %, probíhalo by procesem velké množství vody bez užitku. Naopak pokud by sušina byla vyšší než 15 % nešel by substrát dopravovat a míchat. Pro představu u kompostování je obsah sušiny ideální až u hodnot 40-60 %. [13]

Hojně se používají kejdy (tuhé a tekuté exkrementy) skotu, prasat a slepic.

Hovězí kejdy obsahují vzhledem ke krmení velké množství trávy či sena. To může vytvářet plovoucí příkrývku, která může být velmi špatně odstranitelná. Navíc je nutné počítat, že skot spolu s trávou může požit hlínu, kamínky, či drobné kovové materiály. [13]

Prasečí kejdy obsahují více snadno rozložitelných látek, neboť prasata mají jen jednodukomorový žaludek a krátké střevo. Opět vzhledem k jejich krmení obsahuje kejda kukuřičné a obilné slupky, které na dně vytvoří vysoký koláč. Tento koláč jde velmi těžko rozbít. [13]

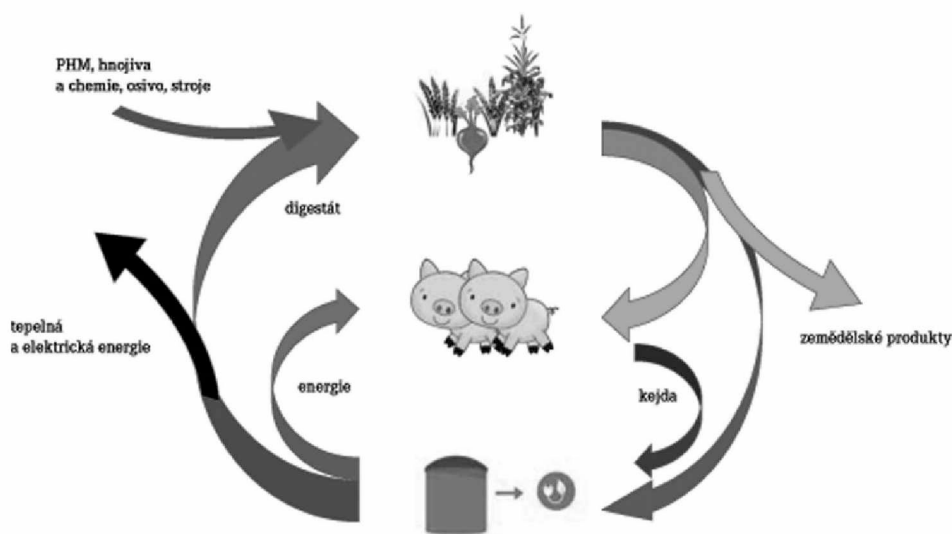
Slepice mají taktěž špatnou trávicí soustavu a jejich kejda obsahuje velké množství snadno rozložitelných látek. Ovšem velkou nevýhodou je vysoký obsah sušiny a je nutné ho ředit. Kvůli vápnu a písku se taktěž budou tvořit usazeniny. Rovněž kejda obsahuje peří, které se chová stejně jako tráva u skotu – tvoří pokrývku. [13]

## 2.2. Produkty

Mezi primární produkty lze zařadit digestát a bioplyn. Jako digestát označujeme polotekutý zbytek po zfermentovaných vstupních surovinách, který se využívá ke hnojení. Dodává do půdy důležité živiny. Bioplyn se z velké části skládá z methanu a oxidu uhličitého. [14]

Jako sekundární produkty můžeme označit elektřinu, teplo anebo páru. Tyto komodity mohou vznikat spalováním vzniklého bioplynu v takzvaných kogeneračních jednotkách. [15]

V této práci se budu zabývat výhradně digestátem, jeho použitím a legislativou.



Obrázek 6 - Koloběh digestátu [16]

### 3. Digestát

Jedním ze dvou hlavních produktů anaerobní digesce je digestát. Tato polotekutá látka obsahuje velké množství živin, a proto je logické, že se používá pro hnojení. [17]

#### 3.1. Vlastnosti digestátu

Složení digestátu a jeho vlastnosti jsou jednoznačně závislé na substrátu a na druhu technologie anaerobní digesce. Všeobecně ovšem má digestát pH pohybující se v rozmezí 7-8. Jeho sušina se pohybuje v rozmezí 3-13 %. Na rozdíl od klasického hnoje a kejdy zapáchá jen málo a v ideálním případě vůbec. Zápach lze přirovnat ke zkvašené kejdě s mírným amoniakálním zápachem. Digestát se separuje buď mechanicky (kalolisy, odstředivky) nebo membránově (ultrafiltrace, mikrofiltrace). Separované složky se nazývají fugát a separát. [18] [19] [20]

Vyhláška č. 474/2000 Sb. určuje, že fugát má sušiny méně jak 3 % a celkový obsah dusíku je min. 0,1 %. Separát je definován touto vyhláškou jako organické hnojivo s více jak 13 % sušiny a minimálně 0,5 % celkového dusíku. [20]

Tabulka 2 srovnává digestát z odpadu potravinářského průmyslu a digestát z kejdy. Lze pozorovat, že odpady potravinářského průmyslu mají vyšší obsah celkového dusíku než digestát z kejdy. Ovšem co se týče obsahu ostatních živin, jasně vede digestát z kejdy. [21]

Tabulka 2 - Složení digestátu [22]

	Sušina	pH	Hustota	celkový N	Snadno dostupný	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>
Jednotka	%	-	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Digestát z odpadu potravinářského průmyslu	4,33	8,41	0,99	7,35	5,94	0,48	1,81	0,06	0,44
Digestát z kejdy	8,22	8,22	0,97	4,4	2,55	1,35	3,49	0,74	1,28

#### 3.2. Legislativa pro nakládání s digestátem

Jakákoliv manipulace s digestátem počínaje jeho výrobou a konče aplikací či likvidací se řídí legislativními omezeními České republiky a Evropské Unie. Všechny tyto ustanovení jsou kontrolovány a musí být dodržovány.

### 3.2.1. Registrace digestátu jako hnojiva

Digestát jako hnojivo se může do oběhu uvádět, pouze pokud splňuje dále uvedená kritéria:

- Má registraci podle zákona č. 156/1998 Sb. (zákon o hnojivech).
- Nesmí ohrožovat úrodnost, zdraví lidí a zvířat ani poškozovat životní prostředí.
- Splňuje označování, balení a skladování, která jsou dána zákonem č. 156/1998 Sb.
- Nesmí být nijak znehodnocen.

Do oběhu se nesmí uvést hnojivo, které je neoznačené, nesplňuje limit rizikových prvků a obsahuje-li přípravek na ochranu rostlin. [23]

Digestát se nemusí registrovat, pokud je vyroben pro vlastní potřebu. Registrace typového hnojiva jako je digestát trvá do 60-ti dnů. U vzorku se stanovuje sušina, spalitelné látky, celkový dusík, fosfor a draslík, pH a rizikové prvky. Žadatel o registraci musí mít k hnojivu příbalový leták, ve kterém informuje o dávkování a aplikaci. [24]

Tabulka 3 - Přehled nutnosti registrace či ohlášení digestátu [25]

Výstup z BPS	Pro vlastní pozemky	Pro uvedení do oběhu
Typový digestát	bez ohlášení a registrace	Ohlášení
Netypový digestát s VŽP	Registrace	Registrace
Netypový digestát bez VŽP	bez ohlášení a registrace	Registrace

### 3.2.2. Skladování digestátu

Skladování digestátu se řídí vyhláškou č. 377/2013 Sb. Podle této vyhlášky se musí digestát a fugát skladovat v nepropustných nadzemních nebo zapuštěných nádržích. Separát se skladuje v budovách, kde je sběrná jímka tekutého podílu a je zamezeno přítoku povrchové nebo srážkové vody. Skladovací kapacita musí odpovídat minimálně čtyřměsíční produkci [26]. Dále musí být čitelně označen a při samotném skladování nesmí dojít k mísení s jinými látkami. Je povinnost vést evidenci příjmu a výdeje digestátu. [11]

O digestátu mluví i zákon č. 156/1998 Sb. (Zákon o hnojivech). Tuhý digestát může být uložen na zemědělské půdě. Nejdéle ovšem 24 měsíců a na místech, která jsou v havarijním plánu dle vodního zákona schválená. Na takovém místě může být separát uskladněn znovu až po třech letech. [23]

### 3.2.3. Legislativní použití při hnojení

Vyhláška č. 377/2013 Sb. určuje způsob použití při hnojení digestátem. Fugát se do půdy zapravuje nejpozději do 24 hodin po aplikaci. Zapravení není vyžadováno při řádkové aplikaci hadicovými aplikátory. U separátu se zapravení vyžaduje do 48 hodin. [26]

### 3.2.4. Digestát jako hnojivo

Využití digestátu jako hnojiva je regulováno mnoha zákony a nařízeními. Dle zákona č. 262/2012 Sb. je digestát nebo fugát hnojivo s rychle uvolněným dusíkem, protože poměr C:N je  $< 10$ . Naopak separát je hnojivo s pomalu uvolněným dusíkem, jelikož jeho poměr je  $C:N > 10$ . [27]

Množství rizikových prvků v digestátu omezuje novela (č. 271/2009 Sb.) vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Konkrétní znění je v tabulce 4. Pokud jsou u digestátu koncentrace rizikových prvků překročeny nesmí být použitý pro hnojení ani prodej. Tabulka 5 ukazuje hodnoty naměřené Laboratoří Písek za rok 2021. Jedná se o průměrné hodnoty a lze vidět, že je vyhláška velmi předimenzovaná a že hodnoty rizikových kovů jsou několikanásobně nižší. [28]

Tabulka 4 - Org. a statková hnojiva – rizikové prvky pro digestáty [28]

Obsah sušiny	Rizikové prvky v digestátech [mg/kg sušiny]								
	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Nad 13 %	2	100	1	20	100	150	20	50	600
Nejvýše 13 %	2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Tabulka 5 - Hodnoty rizikových prvků v digestátu za rok 2021, data Laboratoře Písek [29]

Obsah sušiny	Rizikové prvky v digestátech [mg/kg sušiny]								
	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Do 13 %	0,226	1,348	0,054	5,083	8,672	70,627	3,549	7,843	208,7

Tato vyhláška rozděluje digestát podle obsahu sušiny nad a pod 13 % a podle toho se smí dávkovat na pole. U digestátu pod 13 % tvoří tato dávka maximálně 10 t sušina/ha za 3 roky. U hustějších digestátů je tato dávka dvakrát větší tedy 20 t sušiny/ha za 3 roky. [28]



Mezi další legislativní zákony upravující použití digestátu patří tzv. Nitrátová směrnice neboli Směrnice Rady 91/676/EHS. U nás je tato směrnice dána třemi legislativními prvky. Vodním zákonem (§ 33), nařízením vlády č. 262/2012 Sb. a novelou č. 277/2020 Sb. Jde o směrnici, která má zamezit kontaminaci vod dusičnany ze zemědělských zdrojů. Určují se zranitelné oblasti a v nich se hospodaření řídí dle akčních programů nitrátové směrnice. [30]

Vzhledem k tomu, že digestát jako organické hnojivo je dle zákona č. 254/2001 Sb. o vodách označován za závadnou látku, musí s ním být tak zacházeno. Vodní zákon v §33 definuje zranitelné oblasti:

- a) Vody (jak povrchové, tak podzemní), které jsou využívány, nebo určené jako zdroj pitné vody a koncentrace dusičnanů je vyšší jak 50 mg/l
- b) Vody povrchové, u kterých v důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů může dojít ke zhoršení kvality vody.

V těchto lokacích se reguluje používání/ skladování hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření. To vše je zahrnuto v akčních programech, které se v pravidelných čtyřletých intervalech upravují. [31]

Dle Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. a jeho novely č. 277/2020 Sb. platí pro digestát období, kdy je zakázané ho používat ve zranitelných oblastech. Přehled o těchto datech udává tabulka 6.

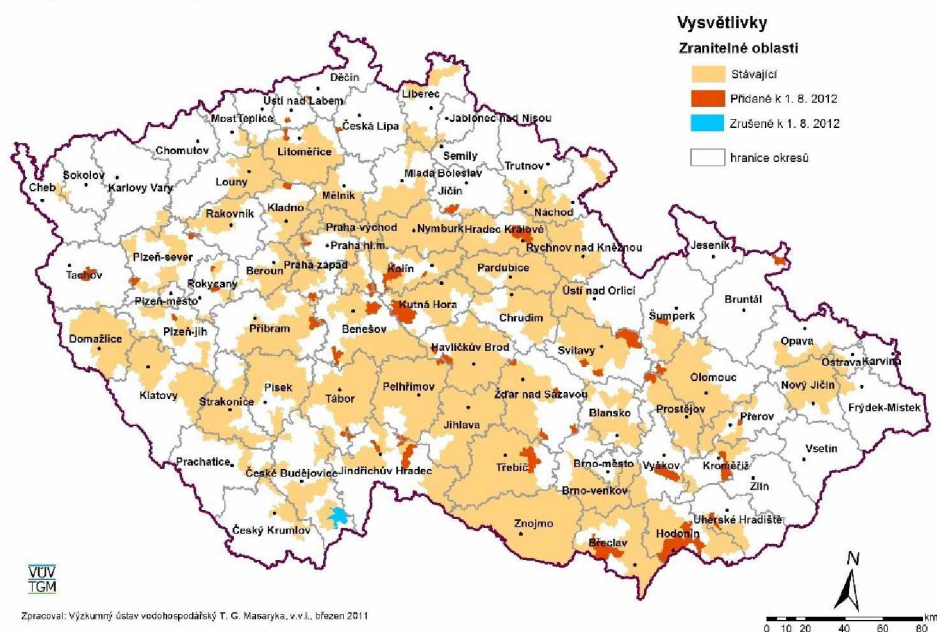
Tabulka 6 - Přehled používání hnojiv v zranitelných oblastech [27]

Klimatický region	Minerální dusíkatá hnojiva	Hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem
0 - 5	1. 11. - 15. 2.	15. 11. - 15. 2.	15. 12. - 15. 2.
	(1. 11. - 31. 1. <sup>1</sup> )	(15. 11. - 31. 1. <sup>1</sup> )	
6 - 7	1. 11. - 28. 2.	15. 11. - 28. 2.	15. 12. - 28. 2.
	(1. 11. - 15. 2. <sup>1</sup> )	(15. 11. - 15. 2. <sup>1</sup> )	
8 - 9	15. 10. - 28. 2.	5. 11. - 28. 2.	15. 12. - 28. 2.
	(15. 10. - 15. 2. <sup>1</sup> )	(5. 11. - 15. 2. <sup>1</sup> )	

<sup>1</sup> platí na zemědělských pozemcích s průměrnou sklonitostí nepřevyšující 5 stupňů a s porostem ozimých plodin

Nadále se nařízení vlády č. 262/2012 Sb. zabývá nutností střídat plodiny pro omezení eroze půdy a zákazem pěstování určitých plodin na zemědělských pozemcích se sklonitostí převyšující 7° (pokud se nachází do 25 m od povrchových vod). Omezuje se i množství aplikovaného hnojiva podle půdních a klimatických podmínek. Ty se dělí do třech aplikačních pásů dle charakteristiky půdy viz. tabulka 7, 8 a 9. [27]

Nové vymezení zranitelných oblastí s účinností od 1. 8. 2012



Obrázek 7 - Vymezení zranitelných oblastí z roku 2012 [32]

Jako klimatický region označujeme území se zhruba shodnými klimatickými podmínkami pro správný růst pěstovaných rostlin. Tyto regiony byly zřízeny pro bonitaci<sup>2</sup> zemědělské půdy. Data byly vypracovány Českým hydrometeorologickým ústavem z dat v letech 1901-1950. Čísla klimatického regionu nabývají 0-9 a je to první číslice kódu bonitované půdy. [33]

Tabulka 7 - I. Aplikační pásmo [27] (upraveno)

Klimatický region	Účelová charakteristika půd
0,1,2,4	sušší oblasti, zejména s jarními přísušky, s převážně hlubšími, středně těžkými až těžšími půdami, charakterizovanými nepromývaným vodním režimem

<sup>2</sup> Bonitace je systém hodnocení půd. Má velké uplatnění at' už pro určování úrodnosti půd nebo pro určení jejich ceny. [65]

Tabulka 8 - II. Aplikační pásmo [27] (upraveno)

Klimatický region	Účelová charakteristika půd
všechny ostatní bonitované půdně ekologické jednotky, které nepatří do I. ani III. aplikačního pásma	převažující část území České republiky, se středním množstvím srážek, středními až lehčími půdami, charakterizovanými periodicky promývaným vodním režimem

Tabulka 9 - III. Aplikační pásmo [27] (upraveno)

Klimatický region	Účelová charakteristika půd
Základní zařazení půd do III. aplikačního pásma	
0-3	lehké písčité půdy, silně propustné, s vysušným režimem
0-3	půdy na velmi propustném podloží
0-9	lehké písčité půdy
8-9	půdy ve vyšších polohách, s vysokým množstvím srážek
Do III. aplikačního pásma jsou zařazeny i zvláště vyčleněné půdy s degradačními procesy a deficitní půdy, pokud jsou zemědělsky využívány a rovněž půdy se sklonem k erozi	
0-9	mělké půdy, převážně vysušné
0-9	mělké půdy s lepší vododržností než HPJ37
0-9	půdy s nevyvinutým půdním profilem a nepříznivými vláhovými poměry
0-9	propustné půdy
0-9	převážně půdy se sklonem k dočasnému zamokření
0-9	zamokřené půdy převážně s nepříznivým vodním režimem
0-9	půdy se sklonem k erozi
0-9	půdy se sklonitostí převyšující 12 stupňů

Nařízení vlády č. 262/2012 Sb. stanovuje i množství dávek dusíku aplikované na půdu v období po sklizni hlavní plodiny. Konkrétní čísla ukazuje tabulka 10.

Tabulka 10 - Maximální celková dávka dusíku v období po sklizni hlavních plodin [27]

Způsob hnojení	I.		II.		III. aplikační pásmo			
	aplikační pásmo		aplikační pásmo		a) půdy se středním rizikem infiltrace		b) půdy s vysokým rizikem infiltrace	
Maximální celková dávka dusíku (kg N/ha)	Minerální dusíkaté hnojivo	Hnojivo s rychle uvolněným dusíkem	Minerální dusíkaté hnojivo	Hnojivo s rychle uvolněným dusíkem	Minerální dusíkaté hnojivo	Hnojivo s rychle uvolněným dusíkem	Minerální dusíkaté hnojivo	Hnojivo s rychle uvolněným dusíkem
1. K ozimé plodině následující po obilnině	60	120	50	100	40	80	40	0
2. K ozimé plodině následující po jiné předplodině, než je obilnina	40	80	30	60	15 <sup>3</sup>	0	15 <sup>2</sup>	0
3. K meziplodinám, s výjimkou čistých porostů jetelovin a luskovin nebo k podpoře rozkladu slámy <sup>4</sup> , s výjimkou slámy luskovin, olejnin a jetelovin pěstovaných na semeno	60	120	50	100	40	80	40	80
4. Pro následné jarní plodiny (použití hnojiv je možné až od 1. října) <sup>5</sup>	0	100	0	80	0	80	0	0

<sup>3</sup> v případě hnojení pro cibuli ozimou a česnek ozimý je maximální dávka 40 kg N/ha.

<sup>4</sup> použití minerálních dusíkatých hnojiv k podpoře rozkladu slámy je možné v případě, že bude následovat ozimá plodina nebo meziplodina ponechaná na zemědělském pozemku minimálně do 31. ledna následujícího kalendářního roku.

<sup>5</sup> hnojení ve III. aplikačním pásmu v období do 31. října pro klimatické regiony 0-7 nebo do 20. října pro klimatické regiony 8-9 je možné s inhibitorem nitrifikace, a to při použití dávkovacího zařízení pro řízenou homogenizaci a v dávkce uvedené v příbalovém letáku nebo na schválené etiketě.“.

### **3.3. Využití digestátu**

Digestát se někdy dále separuje s cílem získat koncentrát s nižším obsahem vody označovaný jako separát a vodnou fází označovanou jako fugát.

#### **3.3.1. Využití separátu**

Separát lze využít jako podestýlku pro ustájená zvířata. Je nutné zabránit množení mikroorganismů. Separát se sice tepelně ošetřuje a tím se počty mikroorganismů podstatně snižují, ale rychle se rekolonizuje po umístění do stáje. Existuje mnoho doporučení pro použití a výrobu separátu:

- Používat pro výrobu separátu kejdy od dospělého skotu.
- Nepoužívat tento typ podestýlky pro skot mladší 12 měsíců a v porodních boxech.
- Používat pouze své zdroje separátu pro výrobu podestýlky. [34]

#### **3.3.2. Využití fugátu**

Fugát se dá využívat jako závlahový systém i jako hnojivo. Patří do skupiny hnojiv s rychle uvolňovaným dusíkem a řídí se legislativou pro tento typ hnojiva. [35] [36]

Pro zavlažování je nutné fugát ředit s vodou, aby vyhovoval legislativním podmínkám závlahových vod. Ovšem zředěný fugát se používá pro závlahu nepříliš vysokých plodin a luk. Například pro kukuřici je tenhle způsob závlahy nemožný. [37] [38]

#### **3.3.3. Digestát jako látka vhodná pro rekultivaci**

Jedním z dalších možností, jak využít digestát, je jeho využití pro rekultivaci. Pokud se digestát používá mimo zemědělskou a lesní půdu, je nazýván jako rekultivační. Aby byl digestát dostatečně hygienicky zabezpečen, neměla by teplota ve fermentoru klesnout pod 55 °C po dobu 24 h a celková doba zdržení by měla být 20 dnů. [18]

#### **3.3.4. Digestát jako alternativní palivo**

Vzhledem ke stoupajícímu počtu BPS stoupá i množství vzniklého digestátu, pro který je nutné najít další využití. Jednou z možností je jeho použití jako alternativní palivo. Separát se míchá s pilinami, senem nebo štěpkou a následně se peletuje. U těchto pelet se především řeší výhřevnost a ekologické zatížení spaliny. [39]

Vlastnosti pelet hodně závisí na chemickém složení a na fyzikálních vlastnostech použitého digestátu. Proto je z hlediska tepelného využití digestátu důležité, aby BPS měla konstantní vstupní suroviny. Při srovnání dřevěných pelet a pelet z digestátu je jejich výhřevnost srovnatelná. Digestátové pelety představují vhodnou alternativu pro ty dřevěné. [40]



Obrázek 8 - Brikety ze separátu a biomasy, 1 – separát s dřevěnými pilinami 1:1, 2 - separát s dřevěnými pilinami 3:7, 3 - separát s senem 1:1, 4 - čistý separát, 5 - separát s topolovou štěpkou 1:1 [61] (upraveno)

## 4. Problematika dalšího využití

V České republice v posledních letech prudce stoupl počet bioplynových stanic. V roce 2005 bylo evidováno celkem 133 BPS, z toho bylo 8 zemědělských. Nyní v roce 2022 je celkem 579 BPS a z toho 401 zemědělských. Celkový instalovaný výkon byl (k datu 31.12.2019) 367 MW. BPS vyrobí 2 526 GWh elektrické energie a podílí se na celkové produkci OZE z 22,9 %. [41] [19] [10]

Díky tomuto nárůstu počtu BPS vzrostlo množství vyrobeného digestátu. V Polsku se odhaduje roční produkce digestátu na 172 000 tun. Protože koncentrace živin v digestátu je velmi nízká (udává se, že obsahuje pouze 8 % sušiny), je snaha snížit jeho objem. To je hlavním důvodem, proč se majitelé snaží vodu z digestátu odseparovat a zvýšit tak koncentraci živin. Mezi další důvody patří lepší skladování a transport. Z ekonomického hlediska je nevýhodné dopravovat digestát dál než 10 km od místa, kde vznikl. Náklady na dopravu mohou činit u malých a středních BPS až 40 % všech nákladů. Digestát obsahuje mnoho dusíku v obou formách (organické i anorganické). Tento fakt omezuje jeho použití na polích, které je řízeno legislativou. Pokud jsou oblasti s intenzivní zvířecí a rostlinou produkcí, můžou lokálně vznikat přebytky digestátu. Majitelé jsou nuceni buď platit likvidaci (např. zpracování v čistírnách odpadních vod) nebo si pronajmout další plochy, aby mohli zachovat limity hnojiv stanovené Nařízením vlády č. 262/2012 Sb. [42] [43]

### 4.1. Legislativní požadavky a běžné hodnoty

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, na digestát jsou kladeny určité nároky týkající se jeho složení. Hlavní požadavek, co se týče složení je, aby obsah dusíku byl minimálně 0,3 %. Toto procento uvádí Vyhláška č. 474/2000 Sb. Pokud ho srovnáme s hodnotami analyzovanými v laboratoři Písek za rok 2021, zjistíme, že obsah celkového dusíku se pohybuje v rozmezí od 0,12 % do 8,32 %. Jedná se o hodnoty všech typů BPS (zemědělské, průmyslové i ty co zpracovávají VŽP). Průměrný obsah dusíku je 0,56 %. Vzorky s menším množstvím celkového dusíku než 0,3 % náleží do skupiny fugátů.

Dalším parametrem, který legislativa zaštiťuje, je sušina, kterou vymezuje vyhláška č. 474/2000 Sb. Digestát dle vyhlášky obsahuje 3–13% sušiny. U analyzovaných vzorků se sušina pohybovala od 2,07 % do 10,14 %. Průměrný obsah sušiny je kolem 6,3 %. Vzorky se sušinou pod 3 % by neměly být klasifikovány jako fugáty.

Dalším stanoveným parametrem je fosfor. Ten legislativa nijak neupravuje a ve vzorcích se jeho množství pohybovalo od 0,01 – 0,32 %. Průměrný obsah fosforu v digestátu se pohybuje kolem 0,1 %.

Posledním důležitým prvkem je draslík. Opět ho legislativa nikterak neupravuje a jeho hodnoty se pohybují v rozpětí 0,15 - 0,92 %. Průměrně se v digestátu nachází okolo 0,38 % draslíku. Veškeré hodnoty jsou pro přehlednění uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11 - Hodnoty digestátu za rok 2021 [29]

	Sušina (%)	Fosfor (P) (%)	Dusík celkový (%)	Celkový draslík (%)
průměr	6,25	0,096	0,561	0,380
minimum	2,07	0,012	0,114	0,153
maximum	10,14	0,316	8,319	0,915

#### 4.2. Složení digestátu a jeho aplikace

Pro praktické použití digestátu je omezující zejména legislativa, která reguluje celkový dusík aplikovaný na pole (tzv. nitrátová vyhláška) a následně také sama produkce digestátu. Co se týče výkonu bioplynových stanic je udáváno, že průměrná česká BPS má elektrický výkon 756 kW. Tato BPS vyprodukuje 27–41 tun digestátu denně (tj. 9 855 až 14 965 tun ročně). Pokud uvedeme hmotnost digestátu na jeden kW elektrického výkonu pohybuje se tato hodnota mezi 36-54 kg digestátu na jednu kW. [16]

Výše uvedené hodnoty jsou pouze orientační. Najdou se i BPS, které výrazně převyšují uváděné průměry. Například BPS Černotín o elektrickém výkonu 800 kW měla v roce 2014 produkci digestátu 54,4 t/den (tj. 19 856 t/rok). Naopak v roce 2014 v BPS Lánov o výkonu 750 kW vzniká v přepočtu 17,39 t/den (BPS uvádí 6 350 t/rok). [44] [45]

BPS Černotín jako své vstupy používá kukuřičnou siláž, travní siláž, hovězí hnůj, recyklovaný digestát a močůvku. Naproti tomu BPS Lánov kromě travní senáže a kukuřičné siláže přidává navíc jen směsku plodin a chlěvskou mrvu. Tyto BPS se shodují obsahem kukuřičné siláže (23 %), ale liší se, co se týče obsahu a typu nejvíce zastoupeného substrátu. V Černotíně je nejvíce zastoupený hovězí hnůj (37 %) a v Lánově travní senáž (47 %). Celkový přehled všech vstupů je v tabulce 12. Rozdíl mezi vyprodukovaným množstvím digestátu bude způsoben těmito vstupy a použitou technologií. [44] [45]



Tabulka 12 - Vstupy BPS Lánov a Černotín [45] [44]

Lánov			Černotín		
Substrát	t/rok	%	Substrát	t/rok	%
Kukuřičná siláž <sup>6</sup>	3650	23,76	Kukuřičná siláž	5800	23,87
Travní senáž	7300	47,53	Travní siláž	5000	20,58
GPS – směska plodin	2950	19,21	Hovězí hnůj	9000	37,04
Chlévská mrva <sup>7</sup>	1460	9,51	Recyklovaný digestát	3000	12,35
			Močůvka	1500	6,17
Celkem vstupy	15360		celkem vstupy	24300	

Pokud vezmeme průměrnou hodnotu dusíku stanovenou v laboratoři (tedy 5,77 kg N na tunu digestátu), vyjde nám, že v průměrné BPS vznikne 56,86 – 86,34 tun dusíku za rok. Jestli se naše BPS nachází ve zranitelné oblasti, tak nejvyšší množství dusíku, které je možné aplikovat na pole, je 120 kg N/ha. Toto množství dusíku by vystačilo na 473–719 ha orné půdy, z čehož vyplývá nutnost dopravy aplikovaného digestátu na větší vzdálenosti.

### 4.3. Digestát a zápach

Dle mnoha zdrojů by bioplynové stanice (pokud se krmí správným poměrem substrátů, na který je postavena) neměly zapáchat. Dle Petry Auterské by i digestát měl zapáchat po hlíně (pokud má správný objem organických látek). Ovšem jiné zdroje uvádějí, že digestát zapáchá po dobře zkvašené kejdě se slabým amoniakálním zápachem. Dle mých zkušeností z rutinních rozborů v laboratoři zaměřené na digestát zapáchá každý digestát jinak a valná většina z nich velmi intenzivně. [46] [47]

---

<sup>6</sup> Siláž je fermentované krmivo. Pokud má vysoký obsah sušiny nazýváme to senáž. Není přesná hranice, ale pokud sušina přesáhne 50 %, mluvíme o senáži. [63]

<sup>7</sup> Chlévská mrva je produkt ze stáji a chlévů (směs exkrementů, močůvky a podestýlky). Rozdíl mezi mrvou a hnojem je, že hnůj pochází zráním (mineralizací a humifikací). Hnůj je vyzrálá chlévská mrva. [64]

## 5. Zahušťování digestátu

Zahuštění digestátu sebou přináší řešení mnohých problémů. Zmenšením množství digestátu vzroste skladovací kapacita. Odseparovaná tekutina má další využití pro zavlažování. Navíc nejen, že se sníží skladovací nároky, ale z digestátu se zahuštěním stane koncentrovanější hnojivo. Rovněž se to jeví jako řešení nyní nákladné a náročné přepravy na větší vzdálenosti. Zahušťovat digestát lze mnoha různými způsoby. U drtivé většiny z nich zahušťování předchází rozdělení na separát a fugát. [16] [48]

Pro oddělení těchto dvou částí se používají šnekové lisy, dekantační odstředivky nebo různé typy filtrů (tlakové/vakuové pásové filtry). [49]

### 5.1. Zpracování separátu

Pevná část se přímo využívá v zemědělství. Kvůli nízkému obsahu vody jsou náklady na dopravu a skladování nižší než u digestátu. Separát se též může kompostovat. Kompostováním dochází k další biologické stabilizaci. Další využití separátu jsou zmíněna v kapitole 3.3.1. Dalším zpracováním může být tepelná přeměna separátu pomocí pyrolýzy. Pyrolýzou se získává biouhel<sup>8</sup> a těkavé složky, které jsou obvykle využívány jako zdroj tepla pro pyrolýzní proces, který probíhá za atmosférického tlaku při teplotě 400-800 °C. Jedná se o rozklad organického materiálu za nepřístupu kyslíku. [49]

#### 5.1.1. Biochar neboli biouhel

Jak již bylo nastíněno biochar vzniká pyrolýzou biomasy. Je to uhlíkatý porézní materiál podobný dřevěnému uhlí. Lze ho využít nejen pro vracení uhlíku do půdy (a tím zvýšit úrodnost a kvalitu), ale také jako sorbent, ať již pro imobilizaci hnojiv, např. dusičnanů, aby nedocházelo k jejich rychlému vymývání do podzemních vod, nebo i těžkých kovů či organických kontaminantů z vod a půd. Uvádí se, že stimuluje důležité mikroorganismy, které zlepšují růst rostlin. Nachází také využití jako heterogenní katalyzátor. [50] [51]

Biouhel nemá jen pozitivní vlastnosti. V závislosti na substrátu použitém pro pyrolýzu může obsahovat těžké kovy či různé metabolity. [51]

Výroba biocharu může být zatížena vznikajícím kouřem s obsahem těkavých organických sloučenin a škodlivých tuhých částic (ty nejškodlivější mají pod 1 μm). Dřív

---

<sup>8</sup> Též známý jako biochar.

v milířích kouř unikal do prostředí a bez užitku. Současné pyrolýzní reaktory využívají pro zahřívání biomasy během pyrolýzy teplo vznikající při spalování těkavého podílu, který během pyrolýzy vzniká. [50]

## **5.2. Zpracování fugátu**

Kapalná část se může přímo používat pro hnojení. Pro zabránění úniku dusíku se využívají hadicové aplikátory či zaorávání do půdy.

U velkokapacitních BPS však může nastat problém s využitím fugátu pro závlahové účely kvůli vysokým nákladům za jeho dopravu na větší vzdálenosti. Proto se možnosti dalšího zpracování digestátu a především fugátu s cílem získat z nich obchodovatelnou komoditu stávají aktuálním tématem. Nejčastěji se ověřuje možnost snížení obsahu vody tak, aby se zvýšila koncentrace cenných organických i anorganických složek v získaném koncentrátu.

Pro zahuštění se využívají membránové procesy, odpařování, stripování amoniaku a vysrážení struvitu. [49]

U membránových procesů je hnací silou gradient tlaku nebo koncentrace. Tato metoda se hojně používá u odpadních vod, ale u digestátu nenese příliš velký úspěch. Za velké provozní náklady může zanášeni membrán. [49] [52]

U odpařování se snižuje obsah vody a tím se živiny koncentrují. Pro energetickou úsporu se používají stupňovité odparky (brýdové páry z předchozího stupně slouží, jako topné médium v dalším stupni). Další energetická úspora se provádí snížením tlaku. [49]

Mnoho pramenů hovoří o vícestupňové vakuovém odpařování. Díky vakuu se digestát zahušťuje již v rozmezí 40-80 °C. Tento typ odparky je výhodný, protože má jednoduchou konstrukci a nízkou spotřebu energie (co se týče odparek). Velkým nedostatkem odparek jsou investiční náklady a spotřeba elektrické energie. Otázkou je, jestli tyto náklady jsou schopny vyvážit možnost dopravy digestátu na větší vzdálenosti. [53]

## **5.3. Zahuštění pomocí sorbentů**

Netradiční metodou zahuštění digestátu je pomocí sorbentů. Odpadá zde energeticky náročná separace vodné fáze, protože pro solidifikaci se používají sorbenty schopné vázat vodu. Předmětem této práce je ověřit, jestli by takové sorbenty nejen solidifikovaly digestát, ale i vázaly pachové složky, např. NH<sub>3</sub>, aby se omezila kontaminace ovzduší. Taktéž by sorbent mohl zamezovat úniku i dalších látek obsažených v digestátu. S tím vším je spojeno zlepšení

kvality ovzduší okolo bioplynových stanic. Hlavní výhodou by však mohlo být převedení digestátu z kašovitě formy do podoby gelu, se kterým by mohla být mnohem snazší manipulace s potenciální možností jeho komerčního využití např. jako hnojiva pro malopěstitele.

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této práci pro zahušťování digestátu nebudu používat žádnou změnu tlaku či teploty. Pomocí různých sorpčních látek budu digestát převádět na gelovou formu.

### 1. Popis měření

#### 1.1. Průběh solidifikace

Do 400ml kádinky bylo naváženo  $280 \pm 1$  g fugátu. Vedle toho bylo odváženo 15 g 1702TWA a 8,4 g 1702TWB. Za neustálého míchání byla do fugátu přidána složka 1702TWA a po úplné homogenizaci i složka 1702TWB.

Po 15 minutách míchání vznikl gel, který byl převeden na sítko s oky o velikost 2 mm a nechán odkapat 12 hodin. Po 12 hodinách byla fáze pod sítkem zvážena a byl změřen i její objem. Tyto kapalné vzorky jsou dále označovány písmenem L nebo slovy separovaná tekutina. Fáze nad sítkem byla taktéž odebrána a dále je označována písmenem S nebo slovem gel. U odkapané fáze byla změřena její hmotnost a objem. U gelového podílu byl stanoven  $\text{NH}_4^+$  dle kapitoly 1.3.1.

Navážky 1702TWA a 1702TWB byly měněny dle tabulky 13. V tabulce jsou zaznamenány i objemy a hmotnosti vykapané fáze.

Tabulka 13 - Hodnoty násad při přípravě gelů S a zastoupení separované tekutiny

Číslo experimentu	Násada fugátu	Násada složky 1702TWA (g)	Násada složky 1702TWB (g)	Objem separované tekutiny L (ml)	Hmotnost separované tekutiny L (g)	Zastoupení separované tekutiny L (%)
1702TW1	281,73	15	8,4	28	28,5119	9,34
1702TW2	280,73	14	8,4	55	56,7416	18,7
1702TW3	280,34	14	7,8	70	72,0975	23,9
1702TW4	280,55	13	7,8	24	18,2674	6,06
1702TW5	280,18	13	7,2	50	45,4901	15,1
1702TW6	280,27	13	8,3	40	36,6464	12,2

#### 1.2. pH a vodivost připravených materiálů

Všechny vzorky byly změřeny pomocí pH metru a konduktometru. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 18 a v tabulce 19.

### 1.3. Měření amonných iontů

Amonné ionty byly měřeny pomocí Ionosepu. Přístroj analyzuje vzorky na principu kapilární izotachofórey. Touto metodou se mohou stanovovat ionty, kyseliny, zásady a aminokyseliny. Jedinou analýzou lze stanovit mnoho složek v krátkém čase.

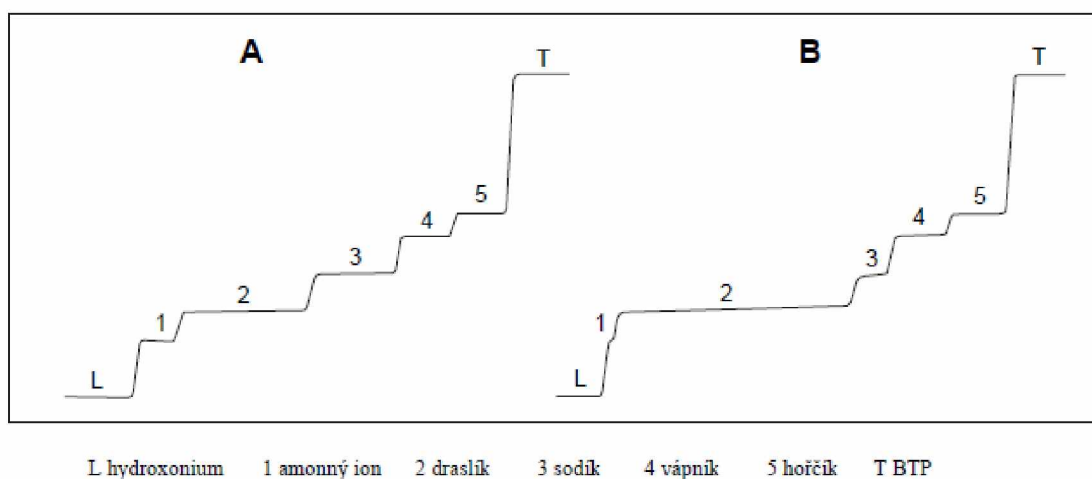
Vzorek se nasaje v horní části podavačem. Je dávkován na rozhraní dvou elektrolytů (vedoucí a koncový). Vzorek přichází do vysokonapěťového zdroje, kde do roztoku začne proudit proud. Směs se rozdělí při konstantním proudu v gradientu vysokého napětí. Ionty se rozdělí podle pohyblivosti do zón v kapiláře. Tyto zóny ohraničuje zepředu vedoucí elektrolyt a zezadu koncový elektrolyt. Elektrolyty se pohybují stále stejnou rychlostí.



Obrázek 9 - Ionosep (Foto autor)

Na konci dochází k detekci vodivostním detektorem. Ten detekuje napětí jednotlivých zón a vytváří tak výsledný graf. [54] [55]

V Laboratoři Písek se na Ionosepu měří organické kyseliny (nejčastěji k. octová, k. máselná, k. mléčná) a amonné ionty.



Obrázek 10 - Teoretický graf z Ionosepu [56]



Obrázek 11 - Konkrétní graf z Ionosepu – vzorek 1702TW6L (Foto autor)

Pro analýzu se ze vzorku musí odstranit pevné nečistoty. Detekční limit pro amonné ionty je 0,2 mg/l. Podmínky analýzy jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14 - Podmínky pro analýzu amonných iontů [56]

Vedoucí elektrolyt:	7,5 mM H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 7 mM-18-crown-6 + 0,1% hydroxypropylmethyl celuloza
Koncový elektrolyt:	10 mM 1,3-bis[tris(hydroxymethyl)methylamino]propan (BisTrisPropan)
Hnací proud:	počáteční 100 μA, koncový 50 μA
Doba analýzy:	15 minut
Mód analýzy:	kationický

### 1.3.1. Měření amonných iontů v digestátu a v separované tekutině (L)

Níže popsaná příprava pro měření amonných iontů na Ionosepu je interním laboratorním postupem v Laboratoři Písek.

10 ml vzorku zbaveného všech pevných částí bylo odměřeno 10ml válcem. Obsah byl kvantitativně převeden do 100ml válce. Ten byl doplněn do 100 ml destilovanou vodou. Následně bylo přidáno 0,5 ml 1:1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Vzniklý roztok byl ve válci promíchán, odlit do 15ml zkumavky a odstředěn 4,5 minuty při 4500 RPM.

Bylo odměřeno 6,25 ml odstředěného vzorku do 25ml odměrné baňky. K tomuto objemu bylo přidáno 3,75 ml isopropylalkoholu a odměrná baňka byla doplněna po rysku destilovanou vodou. Obsah odměrné baňky byl promíchán a pak zfiltrován přes filtr se skleněnými vlákny o velikosti pórů 1,2 um. Do měřicí nádoby bylo napipetováno 5 ml destilované vody a byl přidán 1 ml přefiltrovaného roztoku.

Měřicí nádoba byla umístěna na Ionosep a provedeno standartní měření NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dle kapitoly 1.3.

### 1.3.2. Měření amonných iontů u výluhů ze sorbentů

Níže popsaná příprava pro měření amonných iontů na Ionosepu je interním laboratorním postupem v Laboratoři Písek.

Bylo naváženo přibližně 0,5 g sorbentu a přesná navážka byla zaznamenána. Sorbent byl kvantitativně převeden do 25ml odměrné baňky a byl destilovanou vodou doplněn po rysku. Roztok se nechal 2 hodiny odstát. Stříkačkou bylo nasáto 5–10 ml vzorku a přes filtr se skleněnými vlákny o velikosti pórů 1,2 um zfiltrován do měřicí nádoby.



Měřicí nádobka byla umístěna na Ionosep a provedeno standartní měření  $\text{NH}_4^+$  dle kapitoly 1.3.

### 1.3.3. Měření amonných iontů v připraveném gelu (S)

Níže popsaná příprava pro měření amonných iontů na Ionosepu je interním laboratorním postupem v Laboratoři Písek.

Bylo naváženo přibližně 10 g vzorku a navážka byla zaznamenána do tabulky 15. Navážka byla kvantitativně převedena do 100ml odměrného válce a doplněna do 100ml destilovanou vodou. Následně bylo přidáno 0,5 ml 1:1  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Vzniklý roztok byl ve válci promíchán, odlit do 15ml zkumavky a odstředěn 4,5 minuty při 4500 RPM. Přibližně 10 ml obsahu zkumavky bylo převedeno do 25ml odměrné baňky. Odměrná baňka byla doplněna destilovanou vodou po rysku. Stříkačkou bylo nasáto 5–10 ml vzorku a přes filtr se skleněnými vlákny o velikosti pórů 1,2  $\mu\text{m}$  zfiltrován do měřicí nádobky.

Měřicí nádobka byla umístěna na Ionosep a provedeno standartní měření  $\text{NH}_4^+$  dle kapitoly 1.3.

Tabulka 15 - Hmotnosti navážek gelu a výsledná koncentrace  $\text{NH}_4^+$

Označení sorbentu	Hmotnost (g)	$\text{NH}_4^+$ (%)
1702TW1S	9,6118	0,009
1702TW2S	9,5255	0,010
1702TW3S	9,6745	0,009
1702TW4S	9,4137	0,009
1702TW5S	10,434	0,009
1702TW6S	10,5123	0,010

### 1.4. Rozklad vzorku pro následné stanovení dusíku, fosforu a draslíku

Tento postup předchází kapitolám 1.5., 1.6. a 1.7. a vychází z jejich zdrojů.

Principem je, že se organické látky za tepla oxidují v kyselině sírové za přídavku peroxidu vodíku. Dochází k rozkladu na vodu, oxid uhličitý a další netěkavé anionty a kationty.

Přístroje použité v této metodě jsou analytické váhy a mineralizační zařízení (Büchi Speeddigester K-439 + Scrubber B-414).

Odváží se 3,0000 g vzorku (v případě tekutého nebo polotekutého) nebo 1,0000 g (v případě suchého vzorku) s přesností na 0,001 g. Vzorek se kvantitativně převede

do rozkladné baňky a přilije se 10 ml kyseliny sírové. Rozkladná baňka se umístí do rozkladné jednotky Büchi Speeddigester K-439. Pomocí nálevky s kapilárou se do rozkladné baňky vpraví 10 ml peroxidu vodíku. Rozkladná jednotka a odtah par Scrubber B-414 se zapnou. Zvolí se metoda pro rozklad „K15MIN“ (Parametry metody jsou uvedeny v tabulce 16). Po uplynutí 45 minut se držák s rozkladnými baňkami přesune do otvorů v boku a nechá po dobu 15–20 minut chladnout. Následně se baňky vrátí zpět do rozkladné jednotky a opět se přes nálevku přidá 10 ml peroxidu vodíku. Po ukončení rozkladu se vzorky nechají zchladnout. Kapalina v rozkladné baňce se pomalu naředí destilovanou vodou a přefiltruje se do 250ml odměrné baňky. Vytemperované baňky se doplní po rysku destilovanou vodou.

Stejným postupem, ale bez navážky vzorku se provede i slepý pokus. Výsledek výše popsaného rozkladu rozkladu rozpuštěného v přidané destilované vodě se dále nazývá mineralizát.

Tabulka 16 - Parametry metody K15MIN

	Temperature (°C)	Time (min)
Preheat:	160	
Step 1:	450	15
Step 2:	560	30
Step 3:	200	20
Step 4:	560	30
Cooldown:		30

### 1.5. Stanovení celkového dusíku

Celkový dusík byl stanovován podle SOP 6, jež čerpá z [57] a ze zdroje [58]. V mineralizátu je stanoven hrubý protein pomocí vytěsnění amoniaku hydroxidem sodným a jeho následným predestilováním do kyseliny borité a dalším titračním stanovením.

Přístroje použité v této metodě je zařízení pro destilaci s vodní parou a připojeným titrátorem (Büchi Kjelflex K-360 + Titroline easy).

Destilační zařízení Kjelflex K-360 se zapne, zkontroluje se dostatek všech potřebných kapalin (voda, kyselina boritá, HCl a hydroxid sodný). Zapne se a zkalibruje se titrátor Titroline Easy. Kalibrace probíhá pomocí pufrů o pH 4,01 a 7,00. Pro titraci je použita metoda Kjeldahl BV fast. Po kalibraci je elektroda vložena do jímací baňky destilačního přístroje spolu s hadičkou dávkování HCl. Do destilačního přístroje se umístí prázdná baňka a v přístroji se navolí „PRIMING“. Po skončení primingu se zvolí metoda K1 (parametry metody jsou

vedeny v tabulce 17). Do destilační baňky se napipetuje 50 ml vzorku, který byl rozložen v kapitole 1.4. Do přístroje se zadá označení vzorku a stiskne se start. Tím je destilace zahájena a do baňky se vzorkem se automaticky nadávkuje 40 ml NaOH a do jímací baňky 60 ml H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>. Přístroj začne destilovat. Po jejím skončení se vyčká na konec titrace. Z titrátoru se opíše spotřeba HCl v mililitrech. Roztok z destilační i jímací baňky je automaticky odtážen do odpadu. Před pipetováním dalšího vzorku není nutné destilační baňku vyplachovat.

Slepá zkouška probíhá stejným postupem a spotřeba se zaznamená.

Po ukončení destilace všech vzorků se zařízení promyje pomocí „CLEANING”.

Tabulka 17 - Parametry metody K1

H <sub>2</sub> O	0 ml
NaOH (10%)	40 ml
Reaction time	2 s
Steam power	80 %
Distillation time	300 s
Titration start	250 s
Stirrer speed distillation	10
Stirrer speed titration	12
Aspirate sample	Yes
Aspirate rec. Sol'n	Yes

## 1.6. Stanovení celkového fosforu

Celkový fosfor je stanovován podle SOP 11, jež čerpá z [59] a ze zdroje [58]. Následně se stanoví celkový fosfor (po převedení na fosforečnany procesem mineralizace, viz. kapitola 1.4.). Fosforečnanové ionty v kyselém roztoku za přítomnosti molybdatovanadátového činidla reagují za vzniku žlutého komplexu. Koncentrace fosforečnanů se stanoví po změření absorbance komplexu.

Činidlo 1 se připraví z 300 g tetrahydrátu heptamolybdenanu amonného a 15 g vanadičnanu amonného. Za tepla se tyto chemikálie rozpustí v 2 litrech destilované vody. Po ochlazení se přidá 250 ml kyseliny sírové a celý objem se doplní do 4 litrů.

Jediná přístrojová pomůcka je zde spektrofotometr GENESYS 50 UV-VIS.

Příprava vzorku na stanovení probíhá nejprve dle kapitoly Rozklad vzorku pro následné stanovení dusíku, fosforu a draslíku 1.4. Z mineralizátu se odpipetuje 25 ml do 100ml baňky.

Následně se k němu přidá 10 ml činidla 1. Doplní se po rysku destilovanou vodou, promíchá a nechá nejméně 30 minut stát. Měří se na spektrofotometru při 420 nm proti slepému vzorku.

Stanovování vzorku zde neprobíhá přes kalibrační řadu, ale jen přes jednobodovou kalibraci. Tento bod se získává pomocí standardu označovaným jako IRM 1420, který se připraví úplně stejně jako ostatní vzorky v kapitole 1.4 a 1.6.

### **1.7. Stanovení celkového draslíku**

Celkový draslík byl měřen metodou atomové absorpční spektrofotometrie.

Pro měření byl použit přístroj ICE 3000 Series AA spectrometer. Zmiňovaný přístroj umí pracovat v třech nastavení Flame, Furnace a Vapor. Vzorek byl měřen ve Flame systému. Do hořáku je přiváděno jako palivo acetylen. Vzorek byl upraven dle kapitoly 1.4. Spustí se program Solaar a dle jeho pokynů se nejprve změří standard o nejvyšší koncentraci. Následuje slepý vzorek spálený dle kapitoly 1.4. a poté standardní kalibrační řada ze standardů. Po pokynu programu se do mineralizátu vloží sací hadička a spustí měření. Program následně vyhodnotí koncentraci dle předchozí kalibrace.

### **1.8. Stanovení obsahu sušiny**

Sušina byla stanovována dle [60]. Princip této metody spočívá ve vysušení do konstantní hmotnosti při teplotě  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ .

Jako pomůcky se zde používá sušárna řízená termostatem s nucenou cirkulací vzduchu, exsikátor s vysoušedlem, analytické váhy a odpařovací kelímek.

Postup u této zkoušky je následující. Odpařovací kelímek se nejméně 30 minut vysušuje v sušárně při teplotě  $105\text{ °C}$ . Poté se přesune do exsikátoru, kde se nechá zchladnout a zváží se s přesností na 1 mg. Do kelímku bylo odváženo přiměřené množství digestátu (přibližně 20–30 g, u odkapané tekutiny méně, z důvodu nedostatku vzorku), aby sušina byla alespoň 0,5 g. Kelímek se přemístí do sušárny a suší se do konstantní hmotnosti. Po vysušení se kelímek přemístí do exsikátoru, kde zchladne. Vytemperovaný kelímek se zváží a opět dá sušit. Pokud se hmotnost po dalším sušení nezmění o víc jak 0,5 % nebo o 2 mg od předchozí hodnoty považujeme výsledek za konstantní. Pokud tomu tak není, opakujeme sušení, dokud výsledek není konstantní.

## 1.9. Stanovení obsahu popela

Pro stanovení ztráty žíháním není nyní vydaná žádná platná norma. Princip této metody spočívá v žíhání v peci při  $550\text{ °C} \pm 25\text{ °C}$ .

Přístroje použité pro tento rozbor jsou elektrická pec a analytické váhy. Další pomůcky jsou exsikátor a kelímek vhodný pro žíhání.

Postup u této zkoušky je následující. Kelímek se sušinou z předchozí zkoušky byl vložen do pece a minimálně 60 minut byl žíhán. Po vyžíhání se kelímek přemístí do exsikátoru, kde zchladne. Vytemperovaný kelímek se zváží a opět dá žíhat. Pokud se hmotnost po dalším žíhání nezmění o víc jak 0,5 % nebo o 2 mg od předchozí hodnoty považujeme výsledek za konstantní. Pokud tomu tak není, opakujeme žíhání, dokud výsledek není konstantní.

## 2. Výsledky

Všechny poměry složek 1702TWA a 1702TWB úspěšně zgelovatěly předložený fugát. V tabulce 18 jsou prezentovány původní hodnoty N, P, K fugátu a sorbentu. Hodnota  $\text{NH}_4^+$  u substrátu 1702TWB je na hranici detekce ionosepu.

Tabulka 18 - Souhrmné hodnoty fugátu a sorbentů

	pH	Konduktivita (mS/cm)	Sušina (%)	Popel (% v sušině)	$\text{NH}_4^+$ (%)	Celkový N (%)	K (%)	P ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (%)
Fugát	8,2	23,2	4,49	74,81	0,445	0,57	1,03	0,13
1702TWA	4,72	0,426	72,15	62,52	0	0,168	0,006	0,0486
1702TWB	4,00	0,254	85,30	98,49	<0,001	0,406	0,026	0,0562

V následujících tabulkách (tabulka 19 a tabulka 20) jsou naměřené hodnoty jednotlivých vzorků. U vzorku s označením 1702TW4L nebyl proveden obsah NPK z důvodu jeho nedostatku.

Ačkoli všechny vzorky vykazovaly různou míru zahuštění, sušina všech vzorků byla přibližně stejná. Hodnoty sušiny odkapané složky se pohybovaly kolem 7 % a separovaného gelu 10 %.

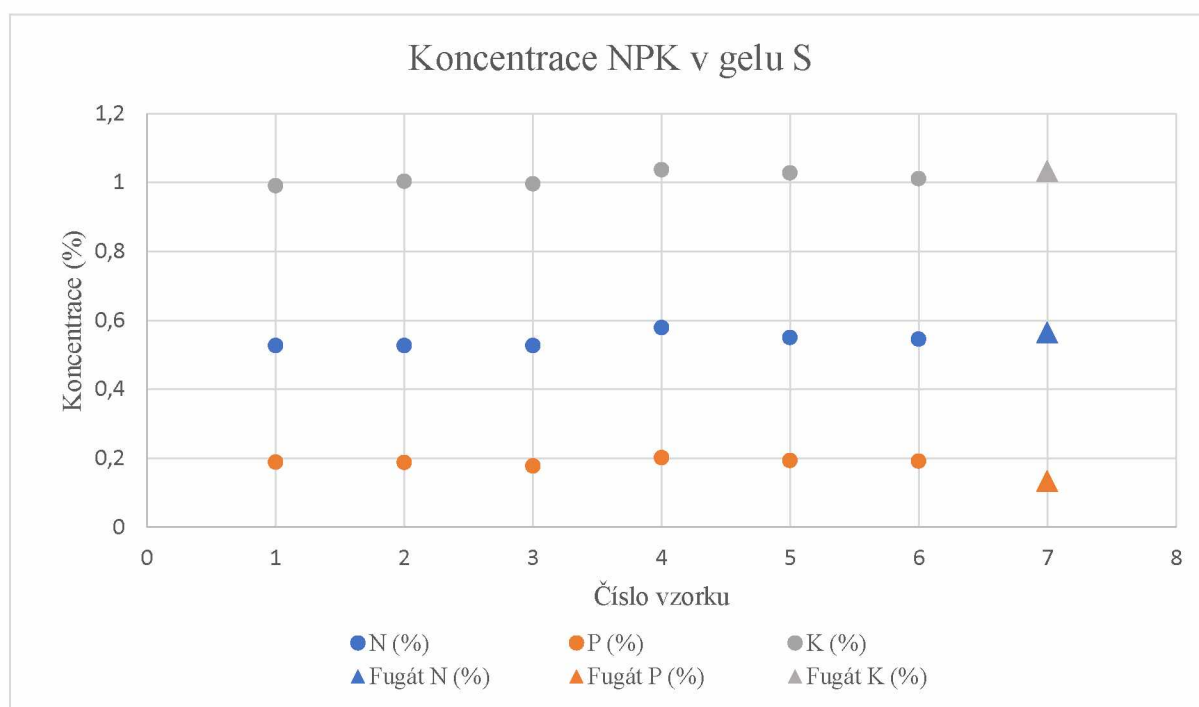
Z níže uvedených grafů (graf 1 a 2) a tabulek (tabulka 19 a 20) je vidět, že hodnoty NPK se od původního fugátu výrazně neliší.

Tabulka 19 - Naměřené hodnoty separované tekutiny L (viz. Kapitola 1.1.1.)

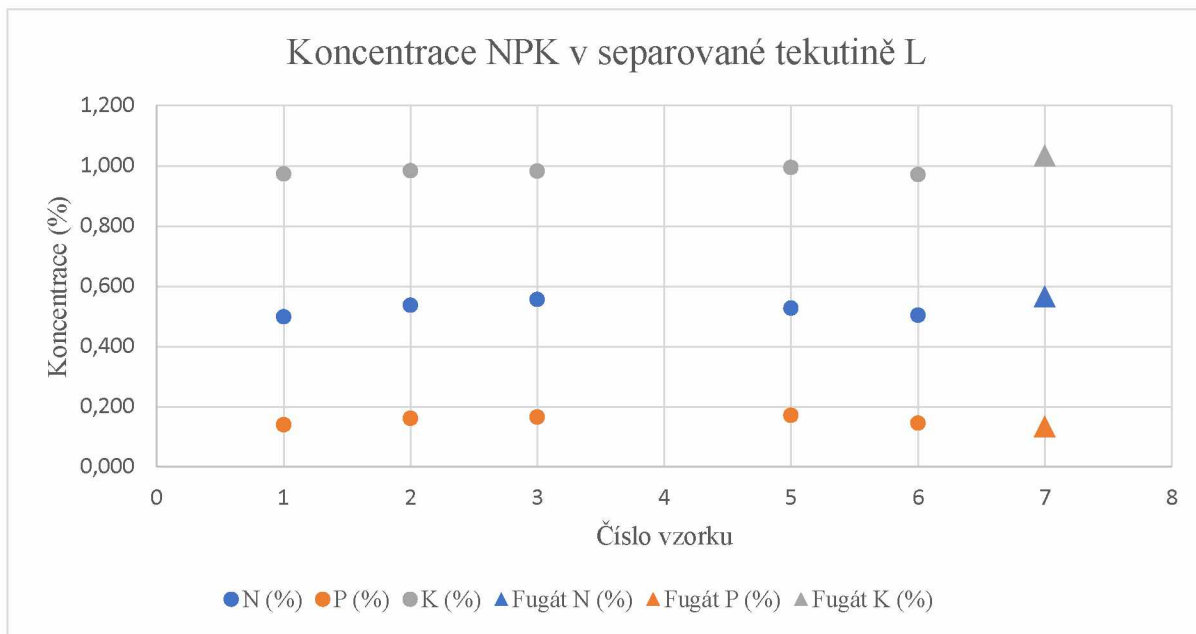
Číslo vzorku	pH	Konduktivita (mS/cm)	Sušina (%)	Popel (% v sušině)	Obsah $\text{NH}_4^+$ (%)	Obsah celkového N (%)	Obsah K (%)	Obsah P ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (%)
1702TW1L	8,91	15,95	7,00	78,86	0,423	0,4988	0,973	0,140
1702TW2L	8,84	18,42	6,16	74,79	0,417	0,5366	0,984	0,161
1702TW3L	8,27	19,23	6,78	77,45	0,392	0,5555	0,983	0,165
1702TW4L	9,00	15,27	6,40	75,12	0,338	----	----	----
1702TW5L	8,73	18,16	7,10	79,64	0,274	0,5277	0,994	0,171
1702TW6L	8,81	14,08	7,12	77,35	0,339	0,5043	0,971	0,145

Tabulka 20 - Naměřené hodnoty separovaného gelu S (viz. Kapitola 1.1.1.)

Číslo vzorku	pH	Konduktivita (mS/cm)	Sušina (%)	Popel (% v sušině)	Obsah NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (%)	Obsah celkového N (%)	Obsah K (%)	Obsah P (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ) (%)
1702TW1S	7,89	14,48	10,58	83,08	0,009	0,5271	0,991	0,189
1702TW2S	7,97	16,99	10,05	82,76	0,010	0,5273	1,004	0,188
1702TW3S	8,00	18,72	8,17	79,14	0,009	0,5270	0,997	0,178
1702TW4S	8,18	15,65	10,46	82,07	0,009	0,5790	1,038	0,202
1702TW5S	8,09	15,50	10,06	81,98	0,009	0,5510	1,029	0,194
1702TW6S	7,98	16,64	10,39	82,56	0,010	0,5462	1,012	0,192

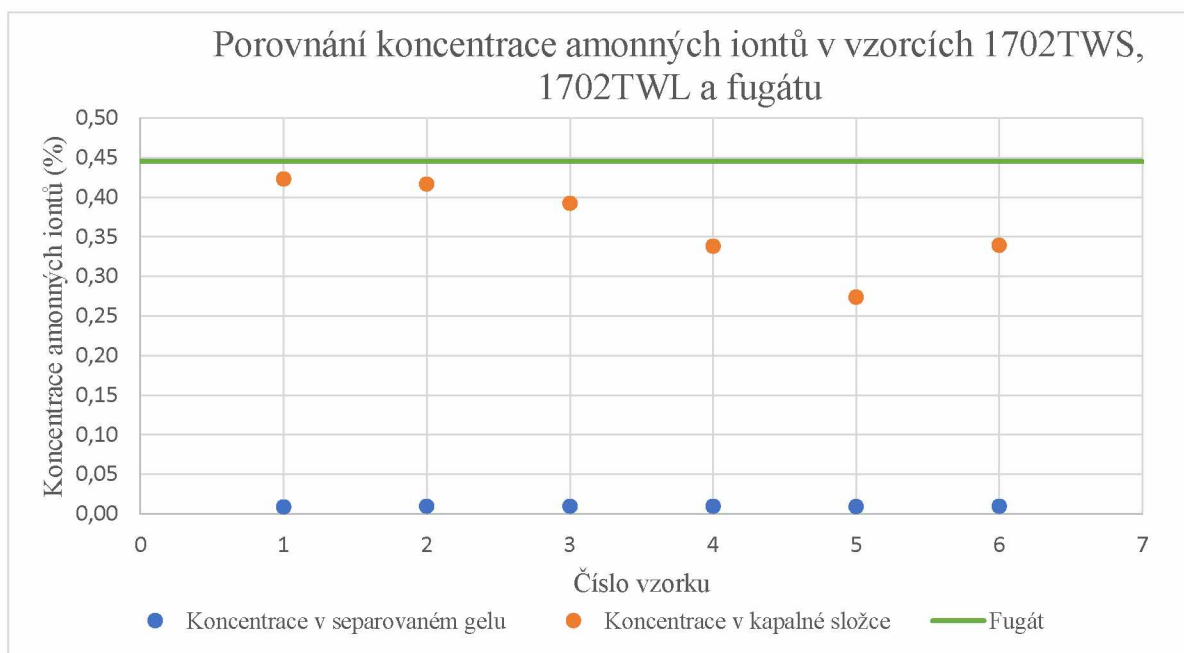


Graf 1 - Koncentrace NPK v gelu S. Hodnota označená v grafu pod číslem 7 náleží hodnotám fugátu.



Graf 2 - Koncentrace NPK v separované tekutině L – vzorek 1702TW4L nemá hodnotu z důvodu nedostatku vzorku. Hodnota označená v grafu pod číslem 7 náleží hodnotám fugátu.

Jednou z hodnot, kterou sorbent výrazně ovlivnil je obsah  $\text{NH}_4^+$ . U separovaného gelu hodnota klesla z původních 0,445 % na 0,01 % a to bez ohledu na množství sorbentů. Z grafu 3 můžeme usuzovat, že amonné ionty nejlépe sorbuje poměr a množství sorbentů odpovídající složení vzorku 1702TW5. Rovněž z něj můžeme usuzovat, že hodně amonných iontů přechází do separované tekutiny.



Graf 3 - Porovnání koncentrace amonných iontů ve vzorcích gelu, separované tekutiny a fugátu.



Díky sorbentům se sušina fugátu, která před zahuštěním byla 4,5 % zvýšila více jak dvojnásobně a pohybovala se kolem 10 %. Vzorek 1702TW3S se výrazně odlišuje od ostatních jedním z důvodů může být špatná solidifikace nebo nedostatečné promíchání při navažování. Přehled sušin je zobrazen v grafu 4.



Graf 4 - Srovnání sušin gelu a fugátu

Na obrázku 13 a 14 je fugát v ideálním solidifikovaném stavu. Na obrázku 13 je směs s 7 g 1702TWA a 3,6 1702TWB na 50 g. U obrázku 14 se jednalo o 17 g 1702TWA a 12,4 g 1702TWB na 140 g fugátu. Tyto poměry byly zkoušeny dodatečně pro neuspokojivou míru gelace předchozích poměrů. Pro porovnání je na obrázku 12 surový fugát před zahuštěním.



Obrázek 13 - Gel s poměry 7 g 1702TWA a 3,6 g 702TWB na 50 g fugátu (Foto autor)



Obrázek 12 - Fugát před solidifikací (Foto autor)



Obrázek 14 - Gel s poměry 17 g 1702TWA a 12,4 g 1702TWB na 140 g fugátu (Foto autor)

## ZÁVĚR

Všechny vzorky fugátu z BPS Písek upravené dle popisované receptury využívající aplikaci sorbentů zgelovatěly. Míra gelace závisela na poměru přidaného sorbentu 1702TWA a 1002TWB. Gely vykazovaly oproti původnímu fugátu téměř nulový zápach. Připravené gely obsahují přibližně 10 % sušiny (původní fugát obsahoval 4,5 % sušiny). Nespalitelný zbytek u sušin získaných gelů a u sušin separované tekutiny byl téměř shodný – pohyboval se kolem 80 %. Makroprvky dusík a draslík se výrazně neměnily. Makroprvek fosfor svou hodnotu změnil nejvýrazněji z uvedených a to z 0,13 % na 0,19 %. Zvýšená hodnota zřejmě bude způsobena přidanými sorbenty. Koncentrace amonných iontů se v připravených gelech snížily až na 0,1 %. Celkový dusík se přibližně snížil o množství amonných iontů. Celkový dusík bude částečně ovlivněn sorbenty. Separovaná tekutina obsahovala vyšší množství amonných iontů než gel. Oproti gelu měla vykapaná tekutina nižší obsah NPK.

Koncentrace biogenních prvků v kapalně složce získané filtrací gelu během jeho přípravy je zhruba stejná, jako jejich koncentrace ve výchozím fugátu. Celkové množství separované kapalně složky je kolem 13 % použitého množství fugátu.

Díky podstatnému snížení zápachu by se skladování a zacházení s gelem vyhnulo těmto nepříjemnostem, které trápí nejednu obec poblíž bioplynových stanic. Další využití vidím v možnosti řešení skladovacích problémů v případech, kdy je kvůli počasí nemožné vyvézt digestát na pole, ale skladovací jímky jsou již naplněné. Část digestátu by se dala pomocí sorbentu zahustit a skladovat na otevřené ploše. Podobná aplikace by šla použít na přetížené fermentory, kdy by se část vsádky fermentoru solidifikovala. Poté by se opět mohla použít jako vstupní substrát.

Vzhledem k nutnosti velké násady sorbentu pro solidifikaci testovaného fugátu bude nutné zvážit ekonomiku celého procesu solidifikace. Pro solidifikaci 1 tuny fugátu by bylo zapotřebí 210 kg sorbentů. Výhodnější by bylo solidifikovat přebytky digestátu, pytlovat jej a prodávat do maloobchodu.

Využití pro solidifikovaný digestát je mnoho. Z výše uvedených důvodů vidím velký potenciál pro další výzkum, který by mohl najít možnosti pro optimální využití digestátu.

## LITERATURA

- [1] Anaerobní technologie. In: *Bioprofit* [online]. BIOPROFIT, 2007 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [2] DOHÁNYOS, Michal, Pavel JENÍČEK a Jana ZÁBRANSKÁ. *Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí*. Svazek 25. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-853-6890-0.
- [3] Vznik Bioplynu z rozložitelných materiálů. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 1. Říčany: GAS, 2003, s. 17. ISBN 80-732-8029-9.
- [4] Vývoj složení bioplynu při rozvoji methanogeneze. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. Říčany: GAS, 2003, s. 18. ISBN 80-732-8029-9.
- [5] MATĚJKA, Jan, Kajan MIROSLAV, Luboš NOBILIS a Tomáš ROSENBERG. *Využití bioplynu pro energetickou bezpečnost a rozvoj obcí a mikroregionů* [online]. 2014 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwikkdvP4sL0AhVKSfEDHYwtCP0QFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.czba.cz%2Ffiles%2Fceska-bioplynova-asociace%2Fuploads%2Ffiles%2FStudie%2520-%2520BioReg.pdf&usg=AOvVaw05OTiGjexAzuf1qaVEVn\\_4](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwikkdvP4sL0AhVKSfEDHYwtCP0QFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.czba.cz%2Ffiles%2Fceska-bioplynova-asociace%2Fuploads%2Ffiles%2FStudie%2520-%2520BioReg.pdf&usg=AOvVaw05OTiGjexAzuf1qaVEVn_4). Studie. Technologická agentura.
- [6] MATĚJKA, Jan, Kajan MIROSLAV, Luboš NOBILIS a Tomáš ROSENBERG. Příklady substrátu a jejich poměru C: N. *Využití bioplynu pro energetickou bezpečnost a rozvoj obcí a mikroregionů* [online]. 2014, s. 10 [cit. 2022-06-19].
- [7] ŠKORVAN, Ondřej, Marek HOLBA, Karel PLOTĚNÝ a v.v.i., BOTANICKÝ ÚSTAV AV ČR. *Suchou, nebo mokrou fermentaci?* [online]. [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [8] BORKOVEC, Ondřej. *ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADU ZE SUCHÉ A MOKRÉ FERMENTACE* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwipg5vP69T0AhXKM-wKHT8LBgAQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vutbr.cz%2Fwww\\_base%2Fzav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php%3Ffile\\_id%3D102321&usg=AOvVaw0fUcCG5i0CsYCZ9ImAU69W](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwipg5vP69T0AhXKM-wKHT8LBgAQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vutbr.cz%2Fwww_base%2Fzav_prace_soubor_verejne.php%3Ffile_id%3D102321&usg=AOvVaw0fUcCG5i0CsYCZ9ImAU69W). Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Ing. Martin Lisý.
- [9] ŽIVNÝ, Jakub. Výroba bioplynu z čerstvé travní hmoty. In: *Docplayer* [online]. [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1814023-Vyroba-bioplynu-z-cerstve-travni-hmoty.html>
- [10] Mapa bioplynových stanic. In: *Česká bioplynová asociace* [online]. [cit. 2021-11-24].

- [11] ČÁPOVÁ, Aneta. *Uplatnění digestátu při provozování bioplynové stanice zemědělského typu*. České udějovice, 2013. Bakalářská práce. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUĎEJOVICÍCH). Vedoucí práce Doc. Ing. Diviš Jiří, CSc.
- [12] CZ BIOM. *Odborné stanovisko sekce Bioplyn k problematice zápachu z bioplynových stanic* [online]. 2007 [cit. 2021-11-24]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/odborne-stanovisko-sekce-bioplyn-k-problematice-zapachu-z-bioplynovych-panic>
- [13] SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-861-6721-6.
- [14] TOMÁŠ, Molek. Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. *O ENERGETICE.cz* [online]. Třebíč: OM Solutions s.r.o. [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/bioplyn-a-bioplynove-panic-v-cr>
- [15] *Jak bioplynová stanice funguje* [online]. 2007 [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://www.adw.cz/nase-farma/bioplynove-panic/#>
- [16] *Biom časopis o energii, co roste: Digestát pokaždě jinak* [online]. 2015, [cit. 2022-06-19]. ISSN 1801-2655.
- [17] STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 1. Říčany: GAS, 2003. ISBN 80-732-8029-9.
- [18] MARANDA, Petr a KOLEKTIV. *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem* [online]. 2008 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA\\_IV\\_Metodika\\_digestt\\_FV.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf)
- [19] TLUSTOŠ, Pavel a Jindřich ČERNÝ. *Produkce a využití digestátu a jeho separovaných složek* [online]. 42 [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAx6zL-dv1AhWTHuwKHQJ6A-QQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fkatedry.czu.cz%2Fstorage%2F214%2F0519f851-produkce-a-vyuziti-digestatu.pdf&usg=AOvVaw3\\_wgIDdVErjh1YKjzeQEhc](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAx6zL-dv1AhWTHuwKHQJ6A-QQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fkatedry.czu.cz%2Fstorage%2F214%2F0519f851-produkce-a-vyuziti-digestatu.pdf&usg=AOvVaw3_wgIDdVErjh1YKjzeQEhc)
- [20] ČESKO. Vyhláška č. 474/2000 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství o stanovení požadavků na hnojiva. In: *Zákony pro lidi* [online]. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-474>
- [21] ROZBROJ, David. *Sledování vlastností digestátu z vybraných bioplynových stanic*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA. Vedoucí práce Ing. Silvie Hevianková, Ph.D.
- [22] ROZBROJ, David. *Sledování vlastností digestátu z vybraných bioplynových stanic: str. 11*. Ostrava, 2013. Diplomová práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA. Vedoucí práce Ing. Silvie Hevianková, Ph.D.

- [23] ČESKO. Zákon č. 156/1998 Sb.: Zákon o hnojivech. In: *Zákony pro lidi [online]*. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156/zneni-20220101>
- [24] VEČEŘOVÁ, Veronika. *Digestát jako hnojivo* [online]. 33 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjagt\\_k2Mr1AhUusKQKHRYrdDV8QFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fcalla.cz%2Fdata%2Fenergetika%2Fseminare%2Fbioplyn%2FVecerovaBPS.pdf&usq=AOvVaw1WXNVTRWTiqhokAD1\\_NROq](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjagt_k2Mr1AhUusKQKHRYrdDV8QFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fcalla.cz%2Fdata%2Fenergetika%2Fseminare%2Fbioplyn%2FVecerovaBPS.pdf&usq=AOvVaw1WXNVTRWTiqhokAD1_NROq)
- [25] JANČÍKOVÁ, Silvie. Důvěřujeme a prověřujeme. Jak na využití digestátu dohlíží stát?. In: *Biom.cz* [online]. 2020 [cit. 2022-01-28]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/duverujeme-a-proverujeme.jak-na-vyuziti-digestatu-dohlizi-stat>
- [26] ČESKO. Vyhláška č. 377/2013 Sb.: Vyhláška o skladování a způsobu používání hnojiv. In: *Zákony pro lidi [online]*. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-377/zneni-20220101?text=digest%C3%A1t>
- [27] ČESKO. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb.: Nařízení vlády o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. In: *Zákony pro lidi [online]*. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-262/zneni-20200701>
- [28] ČESKO. Vyhláška č. 271/2009 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů. In: *Zákony pro lidi [online]*. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-271/zneni-20090901>
- [29] NĚMEC, Josef. Interní hodnoty Laboratoř Písek. In: *Laboratoř Písek* [online]. [cit. 2022-04-20].
- [30] Nitrátová směrnice. In: *EAGRI* [online]. [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/nitratova-smernice/>
- [31] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Zákony pro lidi [online]*. Zlín: AION CS. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [32] Nová nitrátová směrnice v LPIS. In: *EAGRI* [online]. 2009 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/farmar/LPIS/novinky/nova-nitratova-smernice-v-lpis.html>
- [33] *Klimatické regiony* [online]. Katalog prostorových metadat: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2008 [cit. 2022-01-25]. Dostupné z: <https://metadata.vumop.cz/record/basic/54c77a73-3c68-4eb4-b09c-0fb87f000001>
- [34] DOMINÍKOVÁ, Petra. *Využití moderní technologie výroby separátu pro zlepšení kvality ustájení dojnic a snížení emisí stájových plynů* [online]. [cit. 2021-12-15].

Dostupné z: <https://naschov.cz/vyuziti-moderni-technologie-vyroby-separatu-pro-zlepseni-kvality-ustajeni-dojnic-a-snizeni-emisi-stajovych-plynu/>

- [35] BÁRTKOVÁ, Magdaléna. *Možnosti využití fugátu (kapalné frakce z bioplynových stanic) jako alternativního hnojiva*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA. Vedoucí práce Ing. Hana Švejláková.
- [36] POSPÍŠILOVÁ, Milena. *Cesta k efektivnímu využití fugátu* [online]. [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/cesta-k-efektivnimu-vyuziti-fugatu/>
- [37] ROY, Amitava, Antonín JELÍNEK, Martin KARBAN a Barbara PETRÁČKOVÁ. *ÚPRAVA FUGÁTU Z DIGESTÁTU BIOPLYNOVÝCH STANIC PRO ZÁVLAHY KUKUŘICE URČENÉ PRO VÝROBU SILÁŽE VYUŽITELNÉ* [online]. Praha [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjW9\\_2smu72AhVOtKQKHZlAD8kQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Fvuzt.vm.cesnet.cz%2Fpublikace%2F2016%2F030.pdf&usg=AOvVaw1OZtBP0BcrYzSLLFaY-EEN](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjW9_2smu72AhVOtKQKHZlAD8kQFnoECAMQAQ&url=http%3A%2F%2Fvuzt.vm.cesnet.cz%2Fpublikace%2F2016%2F030.pdf&usg=AOvVaw1OZtBP0BcrYzSLLFaY-EEN). Výzkumný ústav zemědělské techniky.
- [38] ROZBROJOVÁ, Klára. *VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA Hornicko - geologická fakulta Institut environmentálního inženýrství Posouzení možnosti využití fugátu pro závlahu*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA. Vedoucí práce Ing. Silvie Hevianková, Ph.D.
- [39] KÁRA, Jaroslav a Roman KOUTNÝ. Využití fermentačních zbytků anaerobní digesce jako paliva. *Biom.cz* [online]. [cit. 2021-12-17]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-fermentacnich-zbytku-anaerobni-digesce-jako-paliva>
- [40] KRATZEISEN, Martin, Nikica STARCEVIC, Milan MARTINOV, Claudia MAURER a Joachim MÜLLER. Applicability of biogas digestate as solid fuel. *Fuel* [online]. 2010, **89**(9), 2544-2548 [cit. 2021-12-17]. ISSN 00162361. Dostupné z: doi:10.1016/j.fuel.2010.02.008
- [41] *Česká bioplynová asociace* [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>
- [42] DZIEDZIC, Krzysztof, Bogusława ŁAPCZYŃSKA-KORDON, Michał JURCZYK, Marta ARCZEWSKA, Marek WRÓBEL, Marcin JEWIARZ, Krzysztof MUDRYK a Tadeusz PAJAŁ. *Solid Digestate—Physicochemical and Thermal Study* [online]. [cit. 2022-01-31]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7224/htm>
- [43] VONDRA, Marek, Vítězslav MÁŠA a Petr BOBÁK. *The Potential for Digestate Thickening in Biogas Plants and Evaluation of Possible Evaporation Methods*. Brno, 2016. ISBN 978-88-95608-42-6. ISSN 2283-9216.

- [44] KASTNER, Petr. *Využití tuhých odpadů z bioplynové stanice k výrobě energie*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Petr Jindra.
- [45] STRMEŇOVÁ, Sylva. *Problematika provozního režimu vybrané bioplynové stanice*. Pardubice, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Tomáš Weidlich, Ph.D.
- [46] BACHORÍK, Jan. Obyvatelé Chabařovic i dalších obcí si stěžují na zápach z ústecké bioplynové stanice. *Český rozhlas* [online]. 1997 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://sever.rozhlas.cz/obyvatele-chabarovic-i-dalsich-obci-si-stezuji-na-zapach-z-ustecke-bioplynovove-8335065>
- [47] AUTERSKÁ, Petra. Problematika zápachu na bioplynových stanicích. In: *Biom.cz* [online]. Praha [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-panicich>
- [48] VIČÍKOVÁ, Magda. Nová technologie na úpravu kapalné frakce digestátu. In: *DocPlayer.cz* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/124343475-Nova-technologie-na-upravu-kapalne-frakce-digestatu.html>
- [49] MIKLAS, Václav. *Integrace technologie pro zahušťování digestátu v bioplynové stanici* [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-12-10]. Dostupné z: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwjKkJqj9dn0AhU2QvEDHS5qBQMqFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vutbr.cz%2Fwww\\_base%2Fzav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php%3Ffile\\_id%3D173708&usg=AOvVaw0BN3sbzj59lftBkUoYWq-m](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwjKkJqj9dn0AhU2QvEDHS5qBQMqFnoECAIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.vutbr.cz%2Fwww_base%2Fzav_prace_soubor_verejne.php%3Ffile_id%3D173708&usg=AOvVaw0BN3sbzj59lftBkUoYWq-m). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [50] HOLLAN, Jan. Uhlík z ovzduší: do půd!. *Sedmá generace* [online]. 1991, **2015**(4) [cit. 2022-03-22]. ISSN 1805-8566. Dostupné z: <http://sedmagenerace.cz/uhlik-z-ovzdusi-do-pud/>
- [51] GEMBALOVÁ, Lucie, Karel KLOUDA, Petra ROUPCOVÁ, Jiří RUSÍN, Adrian PRYSZCZ a Markéta WEISHEITLOVÁ. Biochar - ekologický produkt a jeho uplatnění v ochraně životního prostředí. *Konference OCHRANA OBYVATELSTVA - ZDRAVOTNÍ ZÁCHRANÁŘSTVÍ 2016*. Ostrava, 2016.
- [52] HOLBA, Marek. Aplikace nanovlákných membrán pro zahušťování digestátu. In: *Asio čištění a úprava vod* [online]. 2011 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/1236.aplikace-nanovlakennych-membran-pro-zahustovani-digestatu>
- [53] VONDRA, Marek, Michal TOUŠ a Vítězslav MÁŠA. *Zahušťování digestátu z bioplynových stanic pomocí vakuového odpařování* [online]. In: . [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwio7rje2Mf2AhXDSvEDHVzSD2oQFnoECAUQAQ&url=http%3A>



%2F%2Fwww.odpadoveforum.cz%2FTVIP2021%2Fprispevky%2F124.pdf&usg=AOvVaw2\_O44y9UQlGKMA-L5nu0Cf

- [54] VÁVROVÁ, Jaroslava. *Kapilární izotachoforéza* [online]. In: . [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.dastacr.cz/dasta/hypertext/AJALO.htm>
- [55] *Ionosep* [online]. Ostrava: RECMAN – laboratorní technika, c1991-2022 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <http://www.recman.cz/ionosep/>
- [56] Stanovení amoniaku, draslíku, sodíku, vápníku a hořčíku v kapalných vzorcích. In: *Recman* [online]. Ostrava: RECMAN – laboratorní technika, c1991-2022 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <http://www.recman.cz/aplikacni-listy/>
- [57] ČSN 46 7092-4. *Metody zkoušení krmiv - Část 4: Stanovení dusíkatých látek*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [58] Metody mineralizace. JAVORSKÝ, Petr a František KREČMER. *Chemické rozborý v zemědělských laboratořích*. 2. díl 2. část. Praha: Ministerstvo zemědělství a výživy České socialistické republiky, 1987, 37-43.
- [59] ČSN 46 7092-11. *Metody zkoušení krmiv - Část 11: Stanovení obsahu celkového fosforu*. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [60] ČSN EN 12880. *Charakterizace kalů - Stanovení veškerých látek a obsahu vody*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [61] KÁRA, Jaroslav. Různé brikety nalisované ze separátu a biomasy rostlin , vzadu z leva do prava separát a dřevěné piliny 1:1, separát a dřevěné piliny 3:7, separát a seno 1:1, vpředu zleva čistý separát a separát s topolovou štěpkou 1:1. In: *Biom.cz* [online]. [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/obrazek/ruzne-brikety-nalisovane-ze-separatu-a-biomasy-rostlin-vzadu-z-leva-do-prava-separat-a-drevene-piliny-1-1-separat-a-drevene>
- [62] ROZBROJ, David. Schéma mokré digesce. *Sledování vlastností digestátu z vybraných bioplynových stanic*. 2013. Ostrava: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -TECHNICKÁ UNIVERZITA, s. 15.
- [63] Co je senáž?. In: *Zemědělské potřeby* [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.zemedelske-potreby.cz/pytle-plachty-site-folie/co-je-senaz>
- [64] *Statková hnojiva - Chlévský hnůj* [online]. Brno: Ústav agrochemie a výživy rostlin, 2004 [cit. 2022-06-15]. Dostupné z: [http://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/vyziva\\_rostlin/html/hnojiva/chlevsky\\_hnuj.htm](http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/chlevsky_hnuj.htm)
- [65] Účel bonitace a její využití. *EAGRI: Venkov* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, c2009-2022 [cit. 2022-06-19]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/venkov/archiv/pozemkove-upravy/puda-pudni-sluzba/ucel-bonitace-a-jeji-vyuziti/>